

Texto

CALOR EXTREMO EN CIUDADES MEXICANAS:
DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA

REPORTE CULIACÁN, SINALOA

Versión final
Mayo, 2025

IMPLAN

CRÉDITOS

FUNDACIÓN COPPEL

Agustín Coppel Luken, Presidente del Consejo de Administración de Grupo Coppel

Susana Coppel García, Presidenta de Fundación Coppel, Sostenibilidad y ASG de Grupo Coppel

Rocío Abud Mirabent, Directora de Fundación Coppel y Responsabilidad Social

América Ávalos Galindo, Gerente Nacional de Educación y Filantropía Familiar

SOCIEDAD BOTÁNICA Y ZOOLOGICA DE SINALOA IAP EN COLABORACIÓN

Bárbara Apodaca, Directora General

Manuel Hernández, Coordinador de Recursos biológicos

Ana Iris Torres, Coordinadora de Administración

SOCIEDAD EN ACCIÓN DE SINALOA SUCEDE

Rosa Isabel Mendoza Camacho, Directora General

CALOR EXTREMO MÉXICO

Centro Eure S.C.- Estudios Territoriales y Políticas Públicas

Alfonso X. Iracheta Cenecorta

Jimena Iracheta Carroll

Meridio Consulting

Mauricio Rodas Espinel

Andrea Vivero Valencia

Publycom

Alejandro Sánchez Calvo

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo de la Fundación COPPEL y de la Sociedad Botánica y Zoológica de Sinaloa; no solo han aportado los recursos para hacer los estudios, sino que forman parte del compromiso por hacer que todos los municipios, ciudades y metrópolis de México con problemas de calor extremo se incorporen a la presente iniciativa y apliquen estrategias para reducir las consecuencias de este fenómeno.

La organización CALOR EXTREMO MÉXICO, creada por Meridio Consulting, Publycom y Centro Eure, SC, Estudios Territoriales y Políticas Públicas, ha asumido las gestiones, elaboración de los estudios y promoción de las estrategias de comunicación social para ampliar la conciencia ciudadana y pública sobre el significado e impactos del calor extremo en las ciudades.

Centro EURE asumió la elaboración de este reporte, contando con las aportaciones de Meridio Consulting y de la Sociedad Botánica y Zoológica de Sinaloa y con el diseño gráfico y editorial, así como la estrategia comunicacional de Publycom.

En particular, debemos agradecer a quienes aportaron su conocimiento y compromiso para el logro de este trabajo:

En Centro EURE:

Alfonso Iracheta, Director General.

Jimena Iracheta, Directora Técnica.

Erika Soto, Especialista en análisis socio territorial y planeación territorial.

Talia Paulina Martínez Pérez, Especialista en acción climática local.

Oscar Vázquez Martínez, Especialista en política climática.

Isaías Martínez López, Coordinador del equipo SIG, cartografía, georreferenciación, bases de datos y análisis.

Eliel Hilario Francisco, Experto en SIG, cartografía, georreferenciación, bases de datos y análisis.

Julio Yáñez Meneses, Asesor ambiental, manejo de base de datos.

Concepción Carroll, corrección de estilo.

Denisse Ortiz, Gestiones y atención administrativa del proyecto.

En Meridio Consulting:

Mauricio Rodas Espinel, Socio Fundador

Andrea Vivero Valencia, Gerente General

En Publycom:

Alejandro Sánchez Calvo, CEO

Will Soto Bastidas, Director de Arte

Fausto García Valenzuela, Estrategia de Negocios

FUNDACIÓN COPPEL

Agustín Coppel Luken, Presidente del Consejo de Administración de Grupo Coppel

Susana Coppel García, Presidenta de Fundación Coppel, Sostenibilidad y ASG de Grupo Coppel

Rocío Abud Mirabent, Directora de Fundación Coppel y Responsabilidad Social

América Ávalos Galindo, Gerente Nacional de Educación y Filantropía Familiar

SOCIEDAD BOTÁNICA Y ZOOLOGICA DE SINALOA IAP EN COLABORACIÓN

Bárbara Apodaca, Directora General

Manuel Hernández, Coordinador de Recursos biológicos

Ana Iris Torres, Coordinadora de Administración

SOCIEDAD EN ACCIÓN DE SINALOA SUCEDE

Rosa Isabel Mendoza Camacho, Directora General

Calor Extremo en Ciudades Mexicanas: Diagnóstico y Recomendaciones de Política

Reporte: Culiacán, Sinaloa



Este proyecto es el piloto de cinco ciudades mexicanas: Culiacán, Sinaloa; Hermosillo, Sonora; Mexicali, Baja California; Los Cabos, Baja California Sur, y Monterrey, Nuevo León. El propósito posterior es generalizar el análisis, las propuestas y los apoyos al mayor número de ciudades (municipios) de México y de América Latina y el Caribe con riesgos y vulnerabilidad por calor extremo. Es una iniciativa de la alianza conformada por *Meridio Consulting* (encabezado por Mauricio Rodas y Andrea Vivero), *Centro Eure* (encabezado por Alfonso Iracheta y Jimena Iracheta), *Publycom* (encabezada por Alejandro Sánchez) y la Sociedad Botánica y Zoológica de Sinaloa IAP en colaboración con SUCEDe que, combinando conocimientos y experiencia nacional e internacional, pretende generar conciencia sobre los riesgos, vulnerabilidades y consecuencias del CALOR EXTREMO en las ciudades, a la vez que proponer estrategias e instrumentos y aportar apoyos, asesorías y acompañamiento a los gobiernos locales y actores sociales para planificar y ejecutar acciones de prevención, mitigación, adaptación y solución a los problemas de este fenómeno en las ciudades. Cuenta con el apoyo financiero de la Fundación COPPEL a través de Sociedad Botánica y Zoológica de Sinaloa.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo del Proyecto	3
Contenido del Proyecto	3
I. El fenómeno del calor extremo	5
1.1 Antecedentes: conceptos básicos asociados al calor extremo	5
1.2 Relevancia del Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo, de Adaptación y Capacidad Adaptativa	12
1.3 Herramientas para medir, evaluar y tomar decisiones sobre calor extremo.....	14
1.4 Compromiso de México ante el cambio climático	17
1.5 Notas sobre experiencias y acciones internacionales para enfrentar el calor extremo	26
1.6 Capacidades institucionales de las entidades federativas para la acción climática	28
II. Diagnóstico del municipio de Culiacán	30
2.1 Caracterización del medio físico, urbano y ambiental	30
2.1.4 Caracterización físico – territorial	45
2.1.5. Caracterización económica.....	61
2.2 Análisis de Calor Extremo	64
III. Análisis de vulnerabilidad y riesgos asociados al clima.....	67
3.1 Identificación de los peligros y riesgos climáticos.....	67
3.2 Escenarios de cambio climático.....	75
3.3 Identificación de peligros climáticos pasados	77
IV. Causas atribuibles a la urbanización y a las funciones en la ciudad.....	80
V. Consecuencias del calor extremo.....	83
5.1 Efectos a la salud	83
5.2 Consecuencias a la población.....	86
5.3 Consecuencias a la biodiversidad	91
5.4 Consecuencias en el desarrollo urbano.....	93
5.5 Consecuencias en la Economía.....	93
VI. Programas oficiales existentes en el municipio	94
VII. Instrumentos de política pública para reducir el calor extremo e islas de calor y para ejecutar las estrategias y los proyectos prioritarios	95
7.1 Instrumentos de política pública	95
7.2 Propuesta de acciones complementarias a las políticas públicas	95
7.3 Soluciones para enfrentar el calor extremo en Culiacán basadas en mejores prácticas internacionales	105
ANEXOS	115
Anexo 1: Cálculo percentiles y días consecutivos	115
Referencias bibliográficas.....	125

Box

Box 1. Limitaciones estatales de instrumentos legales y de planeación para la acción climática.	22
Box 2. ¿Cómo construimos ciudades sostenibles del futuro?	26
Box 3. Reflexión con relación al calor extremo.....	44
Box 4. Reflexión para profundizar el análisis sobre el incremento del parque vehicular	48
Box 5. Reflexión para profundizar el análisis físico territorial	51
Box 6. Reflexión para profundizar el análisis económico	62
Box 7. Reflexiones sobre el impacto del calor extremo.....	63
Box 8. Reflexiones para seguir el análisis	66
Box 9. Reflexión para profundizar el análisis sobre áreas específicas del municipio.....	74
Box 10. Reflexiones para robustecer el análisis de cambios de usos de suelo	75
Box 11. Resultado del aumento de temperatura	77
Box 12. Reflexión para profundizar el análisis sobre las consecuencias directas e indirectas en la salud.....	86
Box 13. Costos económicos por efecto del cambio climático en México	94

Gráficas

Gráfica 1. Culiacán, Sinaloa. Crecimiento poblacional con relación a las viviendas particulares habitadas, 1990-2020	50
Gráfica 2. Culiacán, Sinaloa. Distribución de la PEA Ocupada por sectores económicos, 2020.....	62
Gráfica 3. Culiacán, Sinaloa. Promedio mensual de percentiles de las 6 estaciones de monitoreo	66
Gráfica 4. Culiacán, Sinaloa. Promedios de las temperaturas máximas para las estaciones, 1990 - 2019	66
Gráfica 5. Culiacán, Sinaloa. Climograma del municipio, 1981-2010.....	68
Gráfica 6. Culiacán, Sinaloa. Incidencia de sequía en el Municipio, 2003-2023	69

Figuras

Figura 1. Temperatura en zona urbana y rural	11
Figura 2. ¡Calor extremo!.....	13
Figura 3. La ciudad es para la industria, el campo es para agricultura, ¿o no?.....	16
Figura 4. Proceso de adaptación al cambio climático (INECC).....	17
Figura 5. El 2021 fue el cuarto año más caluroso en México del que se tenga registro	20
Figura 6. Tasa de aumento en la temperatura media anual (1979-2020)	20
Figura 7. Coeficiente de Capacidades Institucionales para la Acción Climática, 2021.....	23
Figura 8. Culiacán, Sinaloa. Islas de calor, edificios, centros comerciales y áreas sin vegetación	71
Figura 9. Culiacán, Sinaloa. Islas de calor, calles y vialidades principales	72
Figura 10. Culiacán, Sinaloa. Isla de calor por disminución arbórea, 2001 a 2023	73
Figura 11. Culiacán. Escenarios de Cambio Climático.....	76
Figura 12. Infraestructura verde - azul	98
Figura 13. Proceso anaerobio para el tratamiento de aguas residuales.....	98
Figura 14. Tecnología "Cool roof" (techo frío).....	100
Figura 15. Electromovilidad del transporte público.....	102

Tablas

Tabla 1. Vinculación del calor extremo con los ejes de la NDC en materia de adaptación al cambio climático.....	21
Tabla 2. Ejemplos de metas y objetivos SMART	25
Tabla 3. Culiacán, Sinaloa. Coordenadas geográficas y altitud de la cabecera municipal	31
Tabla 4. Culiacán, Sinaloa. Fisiografía del municipio	37
Tabla 5. Culiacán, Sinaloa. Uso de suelo y vegetación, 2021	40
Tabla 6. Culiacán, Sinaloa. Población total, 1990 - 2030	45
Tabla 7. Culiacán, Sinaloa. Tipos de cobertura en la red vial	46
Tabla 8. Culiacán, Sinaloa. Vehículos de motor registrados en circulación, 1980 – 2023.....	48
Tabla 9. Culiacán, Sinaloa. Viviendas habitadas y crecimiento poblacional, 1990-2020	50
Tabla 10. Culiacán, Sinaloa. Tasa de crecimiento poblacional y de las viviendas particulares habitadas, 2000-2020.....	51
Tabla 11. Cambios de uso del suelo, 2000-2023.....	52
Tabla 12. Culiacán, Sinaloa. Temperatura máxima promedio y escenarios, 1981-2010.....	77
Tabla 13. Culiacán, Sinaloa. Documentos consultados para la identificación de riesgos climáticos pasados	78
Tabla 14. Culiacán, Sinaloa. Peligros pasados en el municipio	79
Tabla 15. Casos de enfermedad “Efectos del calor y de la luz “(clave CIE10 T67, X30), 2014 a 2023	84
Tabla 16. Índice de calor o Heat Index.....	84
Tabla 17. Clasificación de entidades de México que presentan temperaturas máximas, 2024	85
Tabla 18. Culiacán, Sinaloa. Identificación de grupos vulnerables a los efectos del calor extremo en la población, 2020	87
Tabla 19. Culiacán, Sinaloa. Programas oficiales existentes asociados al calor extremo	94

Mapas

Mapa 1. Culiacán, Sinaloa. Ubicación del municipio en el contexto nacional y estatal	31
Mapa 2. Culiacán, Sinaloa. Sistema de topoformas.....	32
Mapa 3. Culiacán, Sinaloa. Topografía.....	32
Mapa 4. Culiacán, Sinaloa. Hidrología superficial.....	34
Mapa 5. Culiacán, Sinaloa. Promedio de temperatura en el municipio	35
Mapa 6. Culiacán, Sinaloa. Precipitación anual promedio.....	36
Mapa 7. Culiacán, Sinaloa. Subprovincias fisiográficas.....	37
Mapa 8. Culiacán, Sinaloa. Edafología	39
Mapa 9. Culiacán, Sinaloa. Uso de suelo y vegetación, 2021	41
Mapa 10. Culiacán, Sinaloa. Área Natural Protegida Isla de Oraba	43
Mapa 11. Culiacán, Sinaloa. Climatología del municipio	44
Mapa 12. Culiacán, Sinaloa. Expansión del área urbana, 1980 - 2023.....	46
Mapa 13. Culiacán, Sinaloa. Uso de suelo y vegetación 2000	53
Mapa 14. Culiacán, Sinaloa. Uso de uso de suelo y vegetación 2023.....	54
Mapa 15. Culiacán, Sinaloa. Pérdida y ganancias de zonas forestales, 2000 – 2023.	56
Mapa 16. Culiacán, Sinaloa. Expansión de usos agrícolas y de pastizales, 2000 – 2023.....	57
Mapa 17. Culiacán, Sinaloa. Pérdida y ganancias de zonas agrícolas, 2000 – 2023.....	58
Mapa 18. Culiacán, Sinaloa. Expansión del uso urbano, 2000 – 2023.	59
Mapa 19. Culiacán, Sinaloa. Ganancias de zonas urbanas, 2000 – 2023.	60
Mapa 20. Culiacán, Sinaloa. Distribución de áreas verdes, 2015	61
Mapa 21. Culiacán, Sinaloa. Temperaturas máximas correspondientes al percentil 90	65
Mapa 22. Culiacán, Sinaloa. Islas de calor a nivel municipal	70
Mapa 23. Culiacán, Sinaloa. Isla de calor a nivel urbano, 2023	70

INTRODUCCIÓN

El calor extremo es el fenómeno derivado del cambio climático que mayor número de personas mata en el mundo. De hecho, es más letal que todas las demás amenazas climáticas en conjunto (huracanes, inundaciones, tifones, incendios forestales, sequías, etc.). Un estudio realizado en nueve países (incluyendo México) señala que en 2019 murieron 356 mil personas por esta causa.¹

Existe muy poco conocimiento respecto a los impactos negativos que causa el calor extremo. Se le conoce como el “asesino silencioso”, pues no genera el nivel de shock visual ni cobertura mediática que una inundación o un huracán. El calor extremo amenaza particularmente a los grupos de población vulnerable (ancianos, mujeres embarazadas, personas en situación de calle, trabajadores en la intemperie, etc.).

Los impactos sociales del calor extremo son múltiples: los niños no pueden concentrarse en la escuela, las mujeres embarazadas corren el riesgo de aborto y los adultos mayores están expuestos a episodios de insolación severa debido a la poca capacidad de adaptar su cuerpo al calor extremo. Cuando la temperatura supera los 37.7°C, el riesgo de heridas y accidentes se incrementa 15% para quienes trabajan en fábricas. Existe evidencia sobre la correlación directa entre el aumento de temperatura y el incremento en los índices de violencia y criminalidad.

Los impactos económicos también son enormes. Según un reporte del *Adrienne Arsht-Rockefeller Foundation Resilience Center*, las pérdidas económicas producto del calor extremo en Estados Unidos superan los USD \$100 billones al año debido a la reducción en la productividad laboral. La Organización Internacional del Trabajo proyecta que el calor extremo reducirá el PIB mundial en USD \$2.4 trillones en 2030.

1

Las amenazas del calor extremo son particularmente agudas en las ciudades debido al efecto de las “Islas de Calor Urbanas”, por lo cual las zonas urbanas son significativamente más cálidas que la periferia y el campo. Las diferencias de temperatura entre el medio urbano y rural suelen ser muy grandes, producto de la aglomeración de personas en ciudades, la edificación y la artificialización que absorben la radiación solar, la pérdida de biodiversidad y áreas verdes, especialmente las que ofrecen sombra y humedad al ambiente, el cambio de uso del suelo de rural a urbano y la movilidad (millones de vehículos de combustión interna).

La gran mayoría de ciudades y autoridades locales no han tomado conciencia sobre la gravedad de este problema y carecen de políticas que permitan proteger a la población de los riesgos mortales del calor extremo, así como a su economía, infraestructura y medio ambiente. Esto se evidencia en las decisiones sobre usos del suelo y densidades, en el bajo interés por los espacios públicos abiertos y verdes o en las limitadas iniciativas para avanzar hacia una movilidad urbana sostenible.

Existen diversas acciones costo-eficientes que pueden desarrollarse a nivel urbano para abordar los efectos del calor extremo, desde la instalación de huertos urbanos hasta la colocación de pintura reflectiva en los techos y de materiales frescos en los pavimentos, entre otras.

¹ Estudio realizado por *The Lancet* (2021) en México, Estados Unidos, Brasil, Chile, China, Colombia, Guatemala, Nueva Zelanda y Sudáfrica.

Uno de los principales métodos para refrescar las temperaturas en una ciudad son los programas de arborización, generación de espacios verdes y de protección de los ecosistemas. Este tipo de acciones no sólo contribuyen a reducir el calor, sino también a preservar y restaurar la biodiversidad urbana, aspecto que cada vez es más destacado como una de las *Nature Based Solutions* más efectivas para combatir el cambio climático.

El Jardín Botánico de Culiacán es un extraordinario ejemplo de colaboración público-privada que puede servir de modelo a nivel nacional. Existen, además, varias organizaciones internacionales con las cuales las ciudades mexicanas podrían construir alianzas efectivas en este campo.

Con el propósito de analizar los riesgos a los que las ciudades se enfrentan en materia de calor extremo y compartir prácticas exitosas que se han desarrollado alrededor del mundo para abordar esta amenaza, Fundación Coppel, la Sociedad Botánica de Sinaloa y el Jardín Botánico de Culiacán organizaron el 20 de Septiembre de 2022 el Foro “Calor Extremo y Biodiversidad en las Ciudades”, con la participación de autoridades estatales y del municipio de Culiacán, así como de otros municipios de la República Mexicana, empresarios, académicos y miembros de la sociedad civil.

El evento, que contó con una importante cobertura mediática a nivel nacional, generó el interés por elevar la discusión relacionada con las amenazas del calor extremo para las ciudades mexicanas, su actividad productiva y dinámica social, así como respecto al desarrollo de acciones encaminadas a proteger los ecosistemas y la biodiversidad urbana como mecanismos para enfrentar los riesgos producidos por temperaturas que continuarán elevándose en los próximos años.

Para dar seguimiento a los positivos resultados obtenidos luego del Foro y continuar generando conciencia y detonando un llamado a la acción en el tema, la alianza conformada por *Centro Eure*, *Meridio Consulting* y *Publycom*, se transformó en la iniciativa “Calor Extremo México”, encaminada a analizar la problemática del calor extremo en las zonas urbanas en México, compartir prácticas exitosas que se han desarrollado alrededor del mundo, plantear acciones concretas para abordar este riesgo, así como asesorar y acompañar a las autoridades locales en el diseño, ejecución y evaluación de las estrategias que les permitan mitigar y adaptar las estructuras urbanas para enfrentar las consecuencias de este fenómeno.

Gracias al apoyo de la *Fundación Coppel*, “Calor Extremo México” llevó a cabo un análisis piloto de cinco ciudades de la República Mexicana, entre ellas, Culiacán, Sinaloa. Dicha selección consideró el riesgo que las altas temperaturas representan para estas ciudades, así como también el alto nivel de compromiso que sus alcaldes han demostrado en materia de combate al cambio climático y la construcción de resiliencia. A partir de la colaboración entre “Calor Extremo México” y las autoridades municipales de cada ciudad, se analizaron las condiciones de vulnerabilidad para la salud humana, la economía y el medio ambiente derivadas del calor extremo, y se recomendaron las acciones de política más efectivas para proteger a la población, la actividad productiva y la infraestructura urbana. Se pretende que los resultados del Proyecto y el ejemplo mostrado por las ciudades seleccionadas se conviertan en un mecanismo eficaz para despertar conciencia sobre la creciente amenaza que representa el calor extremo y la urgencia de abordarlo de manera efectiva en toda la República.

Objetivo del Proyecto

El municipio de Culiacán forma parte de un grupo de cinco ciudades mexicanas en las que se analizó la vulnerabilidad en la salud humana, la economía y el medio ambiente derivadas de los riesgos del calor extremo; el objetivo de este reporte es que el Municipio de Culiacán cuente con una **Estrategia Municipal, co-creada y ejecutada corresponsablemente con la sociedad, para prevenir y enfrentar las consecuencias del Calor Extremo; que sea técnicamente sólida y cercana a la realidad local con una visión integrada y alineada con la planeación territorial-urbana, ambiental y de movilidad sostenible**. La estrategia propone acciones de política de corto hasta largo plazo para mitigar y adaptarse a los efectos de las altas temperaturas, atenuando sus consecuencias sociales, económicas y ambientales. Particular atención se brindó al potencial de las llamadas “Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)”, la preservación de la biodiversidad urbana y la generación de espacios verdes para enfrentar los efectos de las altas temperaturas.

Se pretende que los resultados del proyecto se conviertan en un mecanismo eficaz para despertar conciencia sobre la creciente amenaza que representa el calor extremo y la urgencia de abordarlo de manera efectiva en Culiacán, en el estado de Sinaloa y en toda la República a través de la participación de distintos actores públicos y privados y de la ciudadanía en general.

Contenido del Proyecto

Partiendo de un diagnóstico municipal, se definirán un conjunto de estrategias de política y proyectos para ser ejecutados desde el sector público, privado, academia y la sociedad civil para enfrentar, mitigar y adaptarse a los riesgos de calor extremo. En la etapa estratégica se analizaron algunos casos de éxito y mejores prácticas adaptables al Municipio como mecanismos efectivos para reducir las temperaturas y preservar los ecosistemas urbanos a través de la colaboración pública-privada.

Por lo anterior, este reporte se ha organizado en DOS PARTES y un conjunto de secciones en cada una. La *PRIMERA PARTE* se compone de seis secciones: La *primera* se refiere a los conceptos básicos asociado al calor extremo, considerando que no existe una definición ampliamente compartida, siendo necesario aproximarse, a partir de las conceptualizaciones en la literatura.

En la *segunda*, se argumenta la relevancia de los análisis sobre vulnerabilidad, riesgo y capacidad adaptativa. La *tercera*, recupera algunas herramientas reconocidas que permiten medir, evaluar y tomar decisiones sobre el calor extremo. En la *cuarta*, se analizan los compromisos de México ante el cambio climático.

En la *quinta*, se presentan algunas notas sobre experiencias y acciones internacionales para enfrentar el calor extremo. En la *sexta*, se analizan algunas de las capacidades institucionales para la acción climática en términos de cumplimiento en la elaboración y puesta en operación de los instrumentos acordados por México para enfrentar el cambio climático.

La *SEGUNDA PARTE* se integra por 7 secciones dedicadas al análisis de Culiacán a saber: En la *primera* se desarrolla una caracterización geográfica, ambiental y climatológica municipal, así como la relativa a los aspectos de morfología urbana y condiciones del desarrollo urbano respecto a la vivienda y el transporte. En la *segunda sección* se realiza el análisis de calor extremo. En la *tercera*, se presenta el análisis de vulnerabilidad y riesgos asociados al clima incluyendo los escenarios de cambio climático.

En la *cuarta sección* se analizan las causas del calor extremo atribuibles a la urbanización y a las funciones urbanas incluyendo la calidad del aire y las emisiones de GEI. La *quinta* se concentra en las consecuencias del calor extremo en la salud, en la población, en la biodiversidad, en el desarrollo urbano y en la economía. La *sexta* recoge los programas oficiales existentes en el municipio y la *séptima*, incorpora los instrumentos de política pública para reducir el calor extremo y las islas de calor y para ejecutar las estrategias y proyectos prioritarios que se proponen.

I. El fenómeno del calor extremo

1.1 Antecedentes: conceptos básicos asociados al calor extremo

All you need is less

ETHIC, MEDIO AMBIENTE

La **paradoja de Jevons**, expuesta en 1865 por el economista William Stanley Jevons, plantea que “**a mayor eficiencia en el uso de un recurso, mayor será su demanda**”. Aunque han pasado más de 150 años, el modelo de Jevons se ha aplicado a muchos otros recursos a lo largo del tiempo, como el agua potable o los combustibles utilizados en los automóviles diseñados para ser más limpios y eficientes. En este último caso, se ha observado cómo una mayor eficiencia de los combustibles provoca que los usuarios recorran más kilómetros, generando un **efecto rebote** en la demanda de este tipo de recursos.

Este efecto rebote es la clave: a mayor eficiencia en el empleo de un recurso, disminuyen los costos que conlleva su uso, lo cual implica un aumento en la cantidad demandada de dicho recurso. ¿Cómo podemos saber si Jevons ha hecho acto de presencia? La diferencia entre ese aumento final y la demanda inicial es **la prueba de fuego** que nos indicará si estamos ante una reducción real... o frente a un espejismo (Santiago, 2021).

La urgencia de responder a la crisis climática y a sus impactos —como el calor extremo en las ciudades— nos obliga a proponer soluciones que replanteen el modelo de consumo dominante desde otros enfoques, como el crecimiento económico selectivo y el **decrecimiento** de ciertos productos y servicios de muy alto impacto ambiental y muy bajo rendimiento social. Esta perspectiva nos lleva a cuestionar el mito de que la tecnología puede resolver todos los problemas ambientales. Lo que se necesita es **tecnología, sí**, pero desarrollada a partir de principios que privilegien **estrategias de transformación socioecológica** (FES, 2020), basadas en anteponer la ecología a la economía, y el interés público al privado.

El **clima** se define como “el promedio o las condiciones prevaletientes del tiempo en una región dada, a lo largo de un año, promediado en una serie de años (normalmente más de 30)”. A diferencia del clima, el **tiempo** se refiere a “el estado de la atmósfera con respecto a la temperatura, humedad, viento, nubosidad y presión atmosférica en un espacio y tiempo determinado” (Ochoa, 2019: lámina 2).

Además, el clima es un fenómeno complejo en el que intervienen diversos procesos muy dinámicos a nivel planetario. Destacan los cambios que, si bien son consustanciales a los procesos naturales de la Tierra, se han **acelerado en los últimos dos siglos y agudizado en las últimas décadas**, conforme la humanidad ha incrementado la explotación de los recursos naturales y ha ocupado y transformado los territorios, alcanzando límites y desatando fenómenos interconectados.

Significa que la crisis climática nos alcanzó y no podemos ignorar que estamos viviendo un cambio climático con un conjunto de desequilibrios asociados al aumento de la temperatura global. Sin embargo, existe muy poco conocimiento respecto a los impactos negativos que causa el calor extremo.

Los desequilibrios climáticos repercuten en los ecosistemas y en sus habitantes; provocan consecuencias como el deshielo de glaciares, el aumento del nivel del mar, la escasez de reservas de agua dulce y la formación de olas de calor (Corona y Juárez, 2021; Ciencias de la Atmósfera, s.a.) En las ciudades, estos desequilibrios se manifiestan en excesos y en defectos climáticos que antes no ocurrían o no tenían la intensidad que hoy están alcanzando.

Los primeros se refieren al incremento en la cantidad e intensidad de lluvias provocando inundaciones, al incremento de las temperaturas en verano que alcanzan valores extremos e incluso en la caída de las temperaturas en invierno que ocasionan tormentas no sufridas antes. Los desequilibrios por defecto se manifiestan como sequías y pérdida de biodiversidad, entre otros fenómenos. En conjunto, sus impactos están siendo cada año más evidentes y más costosos en vidas y pérdidas materiales.

En este proyecto se analiza el incremento de las temperaturas que alcanzan valores extremos en el municipio, particularmente durante el verano, y que se han convertido en una causa relevante de morbilidad y mortalidad, sin que existan, todavía, estrategias suficientes y adecuadas para enfrentar, por una parte, sus consecuencias en la salud y en el funcionamiento de las ciudades, y para prevenir, mitigar y adaptar los espacios urbanos al calor extremo y a las olas de calor, por la otra.

Algunas conceptualizaciones o definiciones sobre estos fenómenos son necesarias para poder diagnosticar su magnitud, gravedad e impactos en lo general y en cada ciudad, y con el fin de construir políticas, estrategias y programas concretos para enfrentarlos de manera integral y con la participación de toda la sociedad.

Cuando se analicen ciudades, se debe tener claro que cada una tiene su propia huella de temperatura debido a características específicas como: Crecimiento poblacional con mayor capacidad de consumo; aumento en el área construida (rugosidad y albedo); disminución de áreas de bosques; aumento del número de vehículos; cambios en las circulaciones de viento locales y por tanto en la ventilación; aumento de emisiones (Ochoa, 2019, lámina 27).

De ahí que cada concepto podría tener impactos diferentes entre ciudades, y por ello, requerirá de estrategias y acciones igualmente diferentes. Más aún, como bien menciona Rocha (2021), aunque ONU-Hábitat ha impulsado el modelo de ciudad compacta, en el sentido de alta densidad y usos mixtos del suelo, las críticas y los debates sobre el tema se han centrado en la búsqueda de un equilibrio entre densidad y espacio verde abierto (Russo y Cirella, 2018; UN-Hábitat, 2017), “La densidad y la compactación urbana son deseables desde el punto de vista de la infraestructura y los costos de transporte, pero no lo son para la ecología y la salud”.

En este sentido, un estudio reciente de investigadores suecos (Haupt *et al.*, 2020; Berghauser Pont *et al.*, 2020), viendo en principio las prácticas de planeación suecas y luego comparando con 300 artículos sobre el tema a nivel mundial, prácticamente dieron fin a la discusión. Como notan Russo y Cirella (2018: 1-2), “ciudades compactas que tienen bajo porcentaje general de espacio verde urbano demuestran ausencia de servicios ecosistémicos. Más aún, dichas ciudades son las más impactadas por los efectos de las islas de calor y sus consecuencias resultantes por la densificación urbana” (nuestra traducción, p. 1).

Calor extremo. De acuerdo con el *National Integrated Heat Health Information Service* (NIHHIS) del gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, este fenómeno se puede entender como “*eventos individuales de altas temperaturas en los que estas se aproximan, igualan o superan los récords extremos de temperatura, o bien, como episodios de ola de calor que ocurren durante dos o más días consecutivos*”.

La mayoría de los estudios disponibles en la literatura han abordado el tema de las olas de calor, pero no se tiene una definición única y precisa de “calor extremo”, ya que, al considerar la climatología de cada región o localidad, los eventos de calor pueden variar en intensidad, frecuencia y extensión. Sin embargo, se puede definir de manera general a los eventos de calor extremo como periodos de tiempo inusualmente cálidos, con variaciones en su duración y que se observan sobre un amplio territorio (Villa-Falfán, Vázquez-Aguirre y Sánchez-Martínez, 2019: 44).

El calor extremo ocurre cuando la temperatura alcanza niveles extremadamente altos o cuando hay una combinación de calor y humedad excesivos. Por ello, las regiones con veranos más secos sufren de temperaturas extremas mayores que las regiones húmedas, y es en las ciudades donde las personas tienen mayor riesgo de sentir los efectos del calor extremo y de una ola de calor prolongada que las que viven en áreas rurales (CDC, 2022).

Debido a la complejidad del clima y sus múltiples relaciones, naturales y antropogénicas, es difícil saber hasta dónde el efecto de calor extremo en ciudades mexicanas es ocasionado por las consecuencias del cambio climático, y qué tanto, por otros procesos naturales y/o a causa de procesos generados por la acción humana, como la urbanización y la extracción y consumo de recursos naturales y de energía que las ciudades requieren para su funcionamiento cotidiano.

Estos eventos representan una amenaza para la salud a nivel mundial y para la productividad en diversos sectores, entre los que se encuentran la ganadería, la agricultura, los recursos forestales, los servicios de salud, el suministro de agua potable, el suministro de energía eléctrica y el transporte, entre otros (Herrera-Alanís, 2012).

El calor extremo tampoco es bueno para las infraestructuras. La razón es que la mayor parte de los sistemas eléctricos, mecánicos y arquitectónicos fueron creados para manejarse con un clima “como ha sido siempre” y no para los cambios rápidos que hoy se están experimentando.

Las vialidades, las líneas eléctricas, los puentes, las viviendas y buena parte de los edificios han sido calculados para fuertes vientos, lluvias, sismos y otros fenómenos atmosféricos, pero no para el calor extremo, olas de calor o domos de calor que las sequías y el cambio climático agudizan (Berkowits *et al.*, 2023). Los registros de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), muestran que los días cálidos son cada vez más frecuentes y esta tendencia irá al alza, según sus pronósticos; una evidencia es que 2020 pasó a la lista de los años más calurosos de la historia y que de acuerdo con la CONAGUA, julio de 2023 ha sido el mes más caluroso de la historia en México (Corona y Juárez, 2021).

Oscilación térmica. Los océanos juegan un papel en el sistema climático planetario, complementario y de similar importancia al que juega la atmósfera. En este sentido existe una variación de la temperatura de los océanos, por lo que en el Pacífico aumentó la temperatura mientras que en el Atlántico bajó, esto repercute en las condiciones climáticas de los países y sus ciudades de acuerdo con su ubicación geográfica y sus condiciones ambientales.

Olas de calor. Es un evento de temperaturas sumamente elevadas que permanecen durante varios días y que rebasan los promedios de máximo calor experimentados en una región determinada, siendo más agudo en las ciudades. Para que una ola de calor ocurra, la tropósfera (capa de la atmósfera terrestre que está en contacto con la superficie de la Tierra), debe registrar una alta presión. Las olas de calor pueden intensificarse o durar más días por la interacción con la superficie de la atmósfera si existen sequías; también influyen algunos modos de variabilidad climática, esto es, fenómenos como El Niño o La Niña.

8

Entre 2000 y 2016, el número de personas expuestas a olas de calor aumentó en **125 millones**. Solo en 2015, **175 millones de personas adicionales** estuvieron expuestas a estos eventos en comparación con el promedio de años anteriores. Este fenómeno ha sido **reconocido recientemente** debido a la creciente evidencia de sus **graves consecuencias** en la **salud humana**, el **medio ambiente**, la **economía**, así como en la **infraestructura y los edificios**. Se ha comprobado que su impacto **varía significativamente de una región a otra** y de una ciudad a otra, en función de las **condiciones geográficas, climáticas y de ocupación del suelo** propias de cada lugar. Factores como la densidad urbana, la cobertura vegetal, la impermeabilización del terreno y la calidad del aire **modulan la intensidad y los efectos** de las olas de calor en cada contexto específico.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) coinciden en que el fenómeno de las olas de calor **aún no cuenta con una definición, medición ni estandarización ampliamente aceptadas**. Esta falta de consenso dificulta responder con precisión a si estas olas están aumentando en **frecuencia y severidad**, lo cual es crucial para evaluar sus impactos potenciales en el cambio climático y para **desarrollar estrategias efectivas** para enfrentarlas (Robinson, 2001).

A nivel de definición operacional, se entiende como un periodo inusualmente caliente, seco o húmedo, que se inicia y termina de forma abrupta, con una duración de por lo menos dos a tres días, con un impacto discernible en los seres humanos y los sistemas naturales¹. De acuerdo con Robinson (2001: 762), “las olas de calor son la mayor causa de muerte relacionada con el clima. De acuerdo con las preocupaciones relativas al calentamiento global, es razonable suponer que se incrementarán en frecuencia, severidad, duración y extensión territorial” (nuestra traducción).

Como argumenta Patricia Ordoñez, investigadora de la UNAM, las olas de calor no pueden predecirse a largo plazo, pero lo que sí es posible vislumbrar son las oscilaciones climáticas y los modos de variabilidad climática que podrían propiciarlas. El fenómeno climático puede presentarse todos los años y en cualquier época, así como también es posible que pase mucho tiempo sin que suceda. Lo que debe ser una preocupación al más alto nivel es que los patrones del clima están cambiando, no se sabe aún si esto se puede atribuir al cambio climático, pero en latitudes muy altas, casi polares de Europa, se han presentado olas de calor en los últimos veranos, lo que evidentemente no era usual en esa región. Así, las temperaturas mundiales y la frecuencia e intensidad de las olas de calor aumentarán en el siglo XXI como consecuencia del cambio climático.

Las olas de calor pueden tener un impacto intenso en grandes poblaciones durante breves periodos de tiempo, desencadenar emergencias de salud pública y dar lugar a un exceso de mortalidad, así como a múltiples impactos socioeconómicos, por ejemplo, la pérdida de capacidad de trabajo y de productividad laboral (Pérez, 2020).

En México las olas de calor se han vuelto más frecuentes, este fenómeno puede estar influenciado porque las temperaturas medias están aumentando a nivel global. Cuando sucede una ola de calor se supera un umbral durante varios días o una semana, dependiendo de la temperatura máxima de una región. Por ejemplo, en la Ciudad de México, una ola de calor puede ser de 30°C, en tanto que en Sonora podría ser de 50°C. Las olas de calor durante 2022 alcanzaron temperaturas históricas en Sonora, se llegaron a registrar 48°C entre mayo y junio².

Isla de Calor. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la expresión *isla de calor y sus efectos*³ describe áreas urbanas con muchas construcciones que son más calientes que las áreas rurales cercanas. La temperatura media anual del aire en una ciudad de 1 millón de personas o más puede ser de 2 a 22°F (1 a 12°C) más elevada que en las áreas rurales circundantes; es decir, se refiere a zonas dentro de una ciudad que son más calientes que otras áreas y que el espacio semirural o rural cercano.

¹ <https://ghhin.org/wp-content/uploads/ola-de-calor-y-medidas-a-tomar-dec-2019.pdf>

² https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&lei=PycKZKvyKKe-kPIPgZmy6A4&q=olas%20de%20calor%20en%20m%C3%A9xico%202022&ved=2ahUKEwiriY3rvs_9AhUnHQQIHYGMD00QsKwBKAB6BAhdEAE&biw=1440&bih=707&dpr=2

³ <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/las-islas-de-calor>

Sus efectos se agudizan por las condiciones urbanísticas de cada zona, como la densidad poblacional y edificada, las actividades económicas y sociales de las personas y sus organizaciones, y por la movilidad de vehículos que emiten calor y gases de efecto invernadero (GEI). También, por los pavimentos de vialidades, espacios públicos y privados, y los techos de los edificios que absorben calor, lo que a su vez incrementa la temperatura del aire y de las superficies edificadas o artificializadas (*The White House*, 2023). Igualmente, por la reducción o ausencia de espacios verdes y arbolados, por el predominio de materiales y colores que reflejan el calor, e inclusive por la falta de espacios, equipamientos y mobiliario urbano que reduzcan sus efectos.

Las islas de calor afectan a las comunidades especialmente durante el verano, porque sus efectos pueden producir más enfermedades y mortalidad relacionadas al calor y afectar adversamente la calidad del agua; si bien tienden a impactar a toda la población, sus efectos son más graves en los sectores más vulnerables de la población por sus limitaciones para controlar la temperatura de sus viviendas con equipos de aire acondicionado, porque muchos deben trabajar en espacios abiertos con baja protección y por habitar zonas carentes de espacios públicos verdes y con arbolado que ofrece sombra y refugio¹.

Las islas de calor afectan igualmente la economía y la calidad de vida al aumentar la demanda de energía con los consecuentes incrementos en los costos del aire acondicionado y el aumento de la contaminación del aire y por las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero. Un ejemplo, entre muchos otros registrados, es el de “agosto de 2003 en la península ibérica que provocó un aumento del consumo que llevó a que el precio medio de la electricidad en el mercado diario de producción ('pool') se incrementará en un 24.3% durante ese mes [...] Dicho aumento de consumo puede ocasionar cortes de suministro, que pueden ser paliados mediante el uso de energías alternativas como la energía solar. A partir de ese año, mucha gente cambió a energía alternativa”².

10

Una conclusión relevante de los conceptos analizados es que las ciudades más pobladas resienten con mayor agudeza los efectos del calor extremo, de las ondas u olas de calor y de las islas de calor, y dentro de ellas, los grupos sociales más vulnerables son los más afectados, ya que el cambio climático ha intensificado estos fenómenos. También queda claro que los patrones de urbanización y las actividades humanas tienen una creciente responsabilidad en el agudizamiento de estos fenómenos.

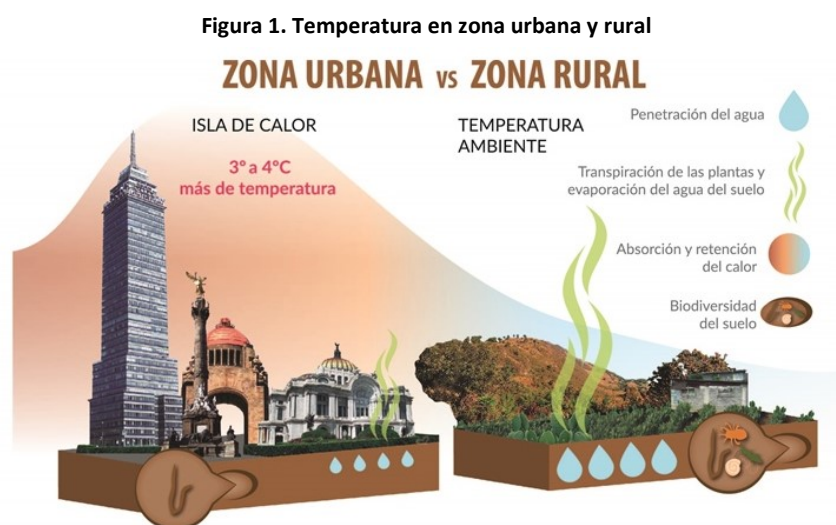
La gran mayoría de ciudades y autoridades locales no han tomado conciencia sobre la gravedad de este problema y no han emprendido políticas que permitan proteger a la población de los riesgos mortales del calor extremo, así como a su economía, infraestructura y medio ambiente. Esto se evidencia en las decisiones sobre usos del suelo y densidades que regularmente se toman en los gobiernos municipales, en el bajo interés por los espacios públicos abiertos y verdes o en las limitadas acciones para avanzar hacia una movilidad urbana sostenible.

¹Véanse otras referencias como: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/las-islas-de-calor> y <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/las-islas-de-calor>. Lugo García, Ma. Guadalupe (2023). Islas de calor, riesgosas para la salud humana, en Vide, Javier Martín, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático-UNAM, Boletín UNAM (agosto 11, 2023). atmosfera.unam.mx.

² Tomado de Wikipedia, Ola de Calor, https://es.wikipedia.org/wiki/Ola_de_calor

Lo grave es que hay ciudades cuya temperatura ya se ha incrementado en dos o tres grados, como es el caso de la Ciudad de México; la intensidad de la isla de calor le ha agregado del orden de tres grados centígrados, sumándole además un grado por el calentamiento global.

Es decir, en el último siglo, tenemos un calentamiento de alrededor de cuatro grados. Los cálculos predicen que las principales metrópolis del mundo aumentarían su temperatura cuatro o cinco grados más en 2050, y para finales de siglo algunas de las más pobladas podrían enfrentar cambios dramáticos de ocho grados centígrados o más. Esto nos da un mensaje muy claro, hay que actuar a nivel global, tenemos que bajar las emisiones de gases de efecto invernadero, si es que no queremos sufrir estos impactos, pero también [...] hay que actuar a nivel local porque si no, de cualquier manera, tendremos impactos muy grandes. Hay tal concentración de población y riqueza en las grandes ciudades que lo que pase ahí nos va a pegar en todo el planeta (Estrada Porrúa, 2022).



Fuente: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/sabias-que/14555-sabias-que-la-temperatura-en-zonas-urbanas-es-mayor-que-en-zonas-rurales>, en Estrada Porrúa (2019, lámina 7).

Es indispensable que las ciudades mexicanas cuenten con los instrumentos específicos para conocer, analizar y enfrentar la crisis ambiental, y especialmente la crisis climática, desde la perspectiva del ordenamiento espacial y ecológico del territorio, la prevención de riesgos y la resiliencia. Estos instrumentos, estructurados en un sistema de planeación-acción integrado, deben fundamentarse en metodologías y en personal calificado que diagnostique los problemas, elabore los programas y ejecute lo planificado; para ello, debe contar con información específica, de calidad y pertinencia para cada ciudad, ya que el comportamiento, las causas y las posibles estrategias para enfrentar el calor extremo serán diferentes para cada una de ellas.

Equidad del calor. Este concepto se refiere a la necesidad de elaborar políticas y acciones para adaptar o mitigar las islas de calor en ciudades, considerando a los diversos grupos sociales, sus condiciones y necesidades, y a los espacios o zonas de las ciudades con mayor o menor impacto por el calor extremo. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos se refiere al:

[...] desarrollo de políticas y prácticas orientadas a mitigar las islas de calor, y ayudar a las personas a adaptarse al impacto que genera el calor extremo de manera tal de reducir la distribución no equitativa de riesgos en las distintas poblaciones que habitan en la misma área urbana. Para mejorar la equidad del calor, es preciso asegurarse de que todos los residentes cuenten con acceso igualitario a los programas locales de disminución de islas de calor y diseñar una respuesta por parte de la ciudad ante situaciones de calor severo que permitan satisfacer las necesidades particulares de los residentes con mayor nivel de riesgo (EPA, s.a.).

Suele existir una correlación entre los vecindarios más calurosos y las características demográficas de sus residentes. Por ejemplo, ciertos factores, como la raza y los ingresos, suelen jugar un papel importante en cuanto a quién se lleva la peor parte en situaciones de calor extremo. Entre los grupos que se encuentran expuestos a un mayor riesgo por el impacto sobre la salud relacionado con el calor, pueden mencionarse: Adultos mayores (más de 65 años); Trabajadores al aire libre; Personas con afecciones médicas existentes; Niños, bebés y embarazadas; Atletas; Personas que viven solas; Personas sin techo; Personas con recursos personales limitados para hacer frente al calor extremo (por ejemplo, movilidad, ingresos) (Jesdale, Morello-Frosch y Cushing, 2013).

1.2 Relevancia del Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo, de Adaptación y Capacidad Adaptativa

El cambio climático en general y los fenómenos asociados que nos afectan, como el calor extremo, requieren de información y de análisis específicos que nos permitan entender la complejidad de este fenómeno y evaluar la vulnerabilidad de cada ciudad y sus espacios, a través de los **análisis de vulnerabilidad y riesgo** que consisten en una estimación del grado en el que un territorio es susceptible o incapaz de enfrentarse a los efectos adversos del cambio climático, como es el caso del aumento de las temperaturas. La estimación del grado expone la vulnerabilidad territorial actual y futura a partir de tres indicadores: i) Exposición actual y futura, ii) Sensibilidad y iii) Capacidad adaptativa (Rivas *et al.*, 2021).

Por ello, se debe valorar la capacidad que tiene cada ciudad para adaptarse a la crisis climática actual y a su evolución al futuro probable de acuerdo con los escenarios de cambio climático, a través de procesos de **adaptación y capacidad adaptativa** que consisten en definir los recursos humanos e institucionales que permitan detonar el proceso de adaptación a una problemática climática específica. Tal proceso de adaptación consiste en un ajuste que se realiza en sistemas humanos o naturales a partir del clima real o proyectado y a sus efectos, con el fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas (Rivas *et al.*, 2021).

La adaptación debe ser un proceso continuo de respuesta a fuerzas externas y futuros previstos. Por ello el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2018), establece dos vertientes para la adaptación: *adaptación incremental* y *adaptación transformativa*. Por ejemplo, ante la pérdida de productividad de un cultivo tradicional, debido al aumento de temperatura y escasez de agua, se puede pensar en medidas incrementales de adaptación como: cosecha adelantada, selección de variedades más resistentes a sequía y uso de tecnologías hídricas y prácticas eficaces.

Pero también pueden surgir opciones transformativas como la reubicación de la producción en regiones más frescas; cambio a otros cultivos; diversificación hacia otras actividades generadoras de renta, sea dentro o fuera del establecimiento.

Además de la adaptación a nuevas condiciones, los fenómenos climáticos exigen de cada ciudad la construcción de capacidades para la resiliencia, considerando que una ciudad resiliente es “capaz de prepararse para impactos y tensiones, recuperarse de ellos y adaptarse, ya sea debido a causas humanas o eventos extremos. Puede tratarse de inundaciones, terremotos, terrorismo, derrames químicos, pandemias, caídas del sistema eléctrico, ciberataques y conflictos. Las ciudades resilientes también pueden abordar la calidad del aire y el agua, la pobreza y la escasez de vivienda analizando los riesgos de la ciudad y tomando medidas para mitigarlos”¹ (ISOFocus, 2020: 11).

Lo que resalta de estos conceptos y procesos es que el gobierno de cada ciudad (municipio) y su sociedad necesitan tomar conciencia de la gravedad del cambio climático y del fenómeno de calor extremo a través de procesos educativos y de comunicación.

Realizar análisis de vulnerabilidad y riesgo climático, así como de capacidades de adaptación y resiliencia en cada ciudad, es fundamental para identificar sus causas y para definir las agendas y cursos de acción que permitan prevenirlos, mitigarlos y adaptarse de manera eficiente y eficaz a las nuevas condiciones que nos imponen.

Figura 2. ¡Calor extremo!



Fuente: UNAM (2021).

¹ Definición atribuida a Patricia McCarney.

1.3 Herramientas para medir, evaluar y tomar decisiones sobre calor extremo

La gravedad del fenómeno de calor extremo, sobre todo en las ciudades, está generando nuevas formas de enfrentarlo desde los gobiernos y desde las sociedades. Cotidianamente se diseñan programas y se amplían las fuentes financieras para proyectos de acción climática¹; también se emiten recomendaciones a fin de que en cada ciudad se tomen decisiones para enfrentar los impactos más negativos del calor extremo y otros impactos climáticos.

Destacan estrategias, proyectos y prácticas que tienen que ver con recuperar la biodiversidad plantando y manteniendo árboles y vegetación apropiados a las condiciones climáticas locales; también con recuperar y expandir los espacios –públicos y privados– abiertos y verdes para combatir los efectos del calor; nuevas estrategias y proyectos para reducir el consumo de energías “sucias” con calentadores solares y sistemas fotovoltaicos en edificios y viviendas, con el apoyo a los techos y muros verdes, el desarrollo de corredores urbanos biológicos o verdes, el incentivo a la agricultura y a los huertos urbanos, entre muchas otras estrategias y prácticas que, además de combatir los impactos del calor extremo, permiten mejorar el aire, proteger la salud pública, crear barrios más seguros y saludables, y ampliar el acceso a la naturaleza.

Igualmente, se han compilado herramientas desarrolladas por gobiernos y otras por organizaciones sociales, empresas y universidades, todas ellas orientadas a apoyar la planeación urbana, la educación comunitaria y la toma de decisiones soportada en información confiable y actualizada. Entre las publicadas por el gobierno norteamericano a través de la Casa Blanca y que, en principio, pueden ser aprovechadas más allá del territorio de los EUA, destacamos las siguientes (*The White House*, 2023, nuestra traducción):

- ***Environmental Insights Explorer de Google: Tree Canopy.*** Esta herramienta combina inteligencia artificial e imágenes aéreas para ayudar a las ciudades a evaluar su actual cobertura de árboles y planificar mejor las iniciativas de silvicultura urbana. *Tree Canopy* es una de varias herramientas disponibles a través de *Environmental Insights Explorer de Google*, una plataforma desarrollada en asociación con organizaciones climáticas y de sostenibilidad para apoyar a los gobiernos subnacionales con su planificación y resiliencia de acción climática.
- ***Climate Explorer.*** Esta herramienta baja información de modelos climáticos globales para proyectar cambios en las temperaturas, la precipitación y otras variables hasta el año 2100. Los usuarios pueden bajar gráficos y mapas al nivel de país y ciudad mostrando los cambios esperados a partir de diferentes escenarios climáticos.

¹ Un ejemplo es el *Pacto Mundial de Alcaldes por el Clima y la Energía* (GCoM por sus siglas en inglés), que ha sido firmado por centenas de municipios en el mundo y que en México más de 100 lo han hecho, y se ha creado una Plataforma de E-Learning a través de la cual se capacita y acompaña a los funcionarios municipales para que elaboren su Plan de Acción Climática (PAC) alineado al resto de instrumentos de planeación territoriales y ambientales.

- **Factor de calor desarrollado por First Street Foundation.** El factor de calor muestra a los usuarios si una propiedad ha experimentado previamente y si está actualmente en riesgo de un evento de calor extremo; también muestra cómo ese riesgo ha cambiado y cómo seguirá cambiando con el tiempo. Esta herramienta también proporciona mapas de dónde es más probable que ocurran días calurosos debido a factores como los usos y la cobertura del suelo. En EUA, los usuarios pueden buscar por dirección, código postal, condado o ciudad.
- **Tree Equity Score** o puntaje de distribución equitativa de árboles en un espacio urbano, es una herramienta de mapeo y una métrica que permite a los gobiernos y a las y los ciudadanos medir y evaluar qué tan bien están distribuidos los árboles por la cubierta de sombra que ofrecen a todos los residentes de un área o barrio determinado. La puntuación se agrega a nivel municipal y se deriva de la cobertura de árboles, clima, datos demográficos y socioeconómicos.
- **The Heat Action Platform.** La Plataforma de Acción contra el Calor del Centro de Resiliencia de la Fundación Rockefeller es una herramienta viva y orientada a la participación gubernamental y social, para que los funcionarios locales, los profesionales y las instituciones financieras cuenten con orientación sobre recursos existentes y soluciones personalizadas para reducir los impactos del calor extremo. La plataforma incluye módulos de evaluación, planificación e implementación, así como un cuestionario a través del cual los usuarios pueden comenzar a identificar soluciones de políticas para sus comunidades.
- **UC Berkeley's Thermal Comfort Tool.** Esta herramienta desarrollada por el Centro para el Entorno Construido de la Universidad de California en Berkeley ayuda a los investigadores, profesionales de la construcción, funcionarios y legisladores a comprender mejor las condiciones bajo las cuales se pueden usar ventiladores eléctricos para refrescar a las personas de manera segura.
- **Climpact** es un paquete de software que utiliza datos diarios de temperatura y lluvia para calcular la frecuencia, duración y magnitud de diversos fenómenos extremos climáticos que son relevantes para los sectores de la salud, la agricultura y el agua. Los índices calculados por *Climpact* están disponibles tanto en escalas de tiempo mensuales como anuales.

Atlas Climático Digital de México (ACDM). La nueva versión del Atlas incorpora la temática sobre sequía meteorológica mediante herramientas y desarrollos tecnológicos de punta para la realización de un proceso cartográfico, que va desde el control de calidad de los datos hasta la elaboración y despliegue de mapas interactivos en Internet, con el fin de generar e integrar en la versión 2.0 del ACDM despliegues cartográficos de variables climáticas continentales básicas (temperatura y precipitación), de parámetros bioclimáticos, de climatología extrema y de periodos de sequía meteorológica en el país. Se procesaron los datos de más de 5,200 estaciones meteorológicas de la base climatológica diaria (1902-2011) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en un proyecto conjunto entre el SMN y la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS), del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM.

Infraestructura verde: soluciones basadas en la naturaleza. Las soluciones basadas en la naturaleza “son acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que abordan los desafíos sociales de manera eficaz y adaptativa, proporcionando simultáneamente el bienestar humano y los beneficios de la biodiversidad” (Domínguez, 2020: lámina 7) (tomado de UICN, Cohen-Shacham *et al.*, 2016). Por su parte, “el enfoque por ecosistemas es una estrategia para la gestión integrada de la tierra, el agua y los recursos vivos que promueve la conservación y el uso sostenible de manera equitativa” (Domínguez, 2020, lámina 7).

La infraestructura verde se refiere a los sistemas naturales o seminaturales que proveen servicios ambientales útiles para la gestión de la biodiversidad y en particular de los recursos hídricos con beneficios equivalentes o similares a los de la infraestructura hídrica gris, que es la convencional o construida. La recarga de acuíferos, la conservación de suelos, la depuración de agua, la mitigación de avenidas y la adaptación al cambio climático son algunos de sus beneficios, además de otros menos relacionados con la gestión hídrica, pero altamente valorados, como la regulación del microclima, la preservación de la biodiversidad, la captura de carbono, la belleza paisajística y un aire más limpio.

Figura 3. La ciudad es para la industria, el campo es para agricultura, ¿o no?

La ciudad es para industria, el campo es para agricultura, ¿o no?



Los techos son el nuevo campo
Ej. Brooklyn Grange Navy Yard Farm, NY EUA (una de los espacios productivos en un techo mas grandes del mundo – 0.6 ha)



Todo el espacio tiene potencial para alimentos
Huerto Tlatelolco, CDMX (1650 m2/0.165 ha)

Fuente: Lerner, (2020: lámina 7).

Como parte de esta infraestructura verde, ventajosamente existen una serie de acciones costo-eficientes que pueden desarrollarse a nivel urbano para abordar los efectos del calor extremo, desde la instalación de huertos urbanos hasta la colocación de pintura reflectiva en los techos, y de materiales frescos en los pavimentos, entre otras. Sin duda, uno de los principales métodos para refrescar las temperaturas en una ciudad son los programas de arborización, generación de espacios verdes y de protección de los ecosistemas.

Este tipo de acciones no sólo contribuye a reducir el calor, también ayuda a preservar y restaurar la biodiversidad urbana, aspecto que cada vez es más destacado como una de las *SbN* más efectivas para combatir el cambio climático, construir resiliencia y avanzar hacia ciudades más sostenibles y con mejor calidad de vida¹.

Figura 4. Proceso de adaptación al cambio climático (INECC)



Fuente: Domínguez (2020: lámina 4).

1.4 Compromiso de México ante el cambio climático

El conocimiento sobre la vulnerabilidad nacional al cambio climático ha avanzado sustancialmente, lo que ha generado una evolución en el tratamiento de la información y la aplicación de los enfoques que se plantean y ejecutan para el diseño de medidas de adaptación. La interacción de factores tales como la posición geográfica, las condiciones ambientales, socioeconómicas y de alto rezago social en combinación con elementos culturales

¹ Un ejemplo relevante de colaboración público-privada es el Jardín Botánico de Culiacán en Sinaloa, que puede servir de modelo a nivel nacional, además de otras organizaciones internacionales con las cuales las ciudades mexicanas podrían construir alianzas efectivas en el campo del combate al calor extremo. Con el propósito de analizar los riesgos a los que las ciudades se enfrentan en materia de calor extremo y compartir prácticas exitosas que se han desarrollado alrededor del mundo para abordar esta amenaza, Fundación Coppel, la Sociedad Botánica de Sinaloa y el Jardín Botánico de Culiacán organizaron el 20 de septiembre de 2022 el Foro "Calor extremo y biodiversidad en las ciudades", con la participación de autoridades del estado de Sinaloa y del municipio de Culiacán, así como de otros municipios de la República Mexicana, empresarios, académicos y representantes de la sociedad civil. El evento generó el interés por elevar la discusión relacionada con las amenazas del calor extremo para las ciudades mexicanas, así como respecto al desarrollo de acciones encaminadas a proteger los ecosistemas y la biodiversidad urbanas como mecanismos para enfrentar los riesgos producidos por temperaturas que continuarán elevándose en los próximos años.

confluyen dando como resultado un país altamente vulnerable a impactos potenciales del cambio climático, confirmando nuevamente que la adaptación y la reducción de riesgos son tareas inaplazables (SEMARNAT, 2022).

Los avances en el conocimiento acerca de la vulnerabilidad, así como el considerar la información presentada en los informes especiales del IPCC, dan pauta para la construcción de una Política Nacional de Adaptación (NAP, por sus siglas en inglés) prevista en la LGCC que tiene como objetivo orientar la implementación de este componente a través de procesos colaborativos, multisectoriales, que reconozcan la naturaleza amplia, compleja y urgente⁵ de la adaptación (SEMARNAT, 2022).

Este componente amplía su ámbito de actuación al integrar elementos transversales como:

- Soluciones basadas en Naturaleza (SbN).
- Enfoques de Adaptación basada en Comunidades (AbC).
- Adaptación basada en Ecosistemas (AbE).
- Adaptación basada en la Reducción del Riesgo de Desastres (AbRRD).
- Adaptación basada en Infraestructura (AbI).

Asimismo, y como resultado de un proceso participativo desarrollado a nivel nacional, entre marzo de 2019 y noviembre de 2020 se incorpora la retroalimentación de los tres órdenes de gobierno, expertos, academia, sectores productivos, organizaciones de la sociedad civil, juventudes y público en general. Igualmente, se integran elementos para impulsar la adaptación de la población, los ecosistemas, sistemas productivos, seguridad alimentaria, gestión integral de los recursos hídricos y la infraestructura estratégica, y el patrimonio cultural tangible del país (SEMARNAT, 2022).

18

De esta forma, el componente de adaptación incrementa su ámbito de actuación. Durante la caracterización de las líneas de acción se definieron los medios de implementación requeridos en cuanto al desarrollo y fortalecimiento de capacidades, generación de conocimiento e investigación científica, así como el desarrollo y transferencia de tecnología y la consolidación de mecanismos financieros para acciones de adaptación que serán desarrolladas para el año 2030.

La actualización del componente de adaptación de la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC), presenta una mayor ambición en las acciones que se llevarán a cabo en el territorio y prevé establecer y consolidar mecanismos de Monitoreo y Evaluación (M&E) con el fin de fortalecer la transparencia en el reporte de los avances y resultados obtenidos en la reducción de la vulnerabilidad. También considera incrementar la participación de los diferentes sectores y organismos involucrados en la toma de decisiones, así como en la planeación y uso del financiamiento al reconocer las oportunidades y establecer requerimientos para su adecuada implementación con una visión de largo plazo (SEMARNAT, 2022).

En las últimas décadas los fenómenos extremos climáticos como olas de calor, sequías, inundaciones e incendios forestales han sido cada vez más frecuentes, y constantemente acentúan la vulnerabilidad y exposición de los sistemas humanos y naturales. Responder a los cambios de estos fenómenos implica tomar decisiones estratégicas anticipadas con una incertidumbre constante acerca de la gravedad de sus impactos.

Desde 1960 las temperaturas promedio en México (país) han aumentado 0.85°C y se espera que para finales de la década de 2030 lo hagan en un rango de 1 a 1.5°C en la mayor parte del territorio nacional. Respecto a la temperatura media del país, en el periodo de 1901-2012 se observó una tendencia al alza, pues en la mayor parte del territorio el incremento fue de 0.5 a 1.0°C, teniendo una mayor tasa de calentamiento en el norte del país (Rivas *et al.*, 2021: 70).

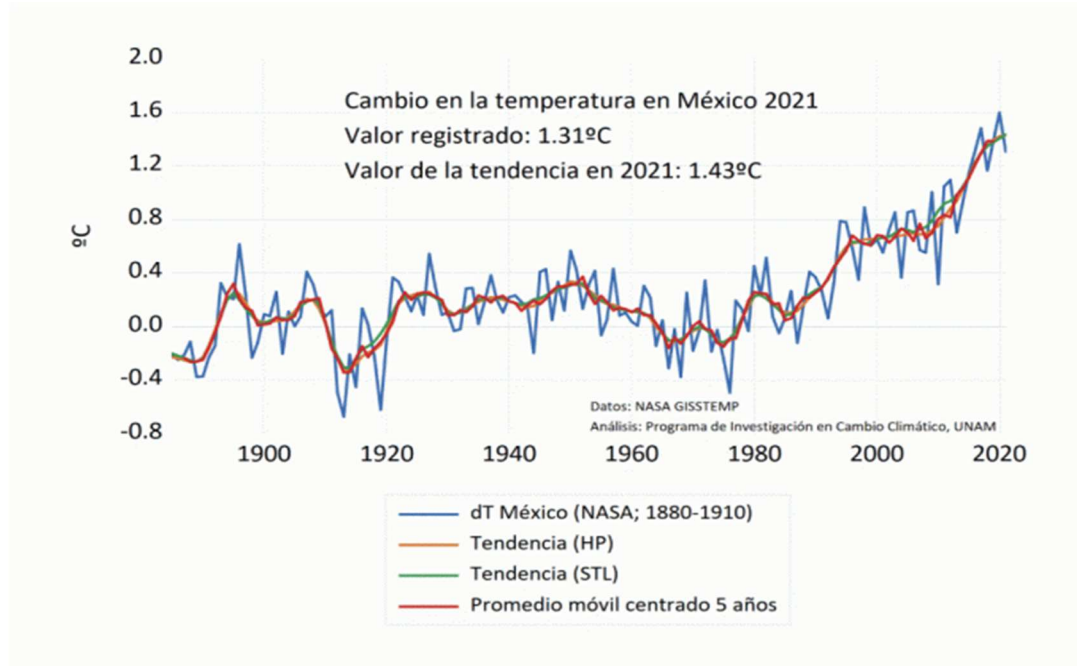
De continuar las tendencias en el aumento de la temperatura se estima que para el año 2050 se perderán de 70% a 90% de los arrecifes de coral, lo cual tendría consecuencias catastróficas no sólo en los ambientes marinos-costeros, sino en general en el equilibrio de la vida (SEMARNAT, 2021). Asimismo, la precipitación ha disminuido en el sureste del país desde hace medio siglo y existe una tendencia de disminución de la precipitación anual en un rango entre 10 a 20% (Rivas *et al.*, 2021: 70).

Las figuras que a continuación se muestran contienen una gráfica del cambio de la temperatura anual promedio de México desde la época preindustrial (1900) hasta el año 2020; la anomalía registrada en este periodo es de 1.31°C, mientras que a nivel global la anomalía fue de 1.11°C.

El año 2021 es el cuarto año más caluroso en México. Durante el periodo 1979-2020, en gran parte del país las tasas de aumento en la temperatura media anual fueron de alrededor de 2.0°C por siglo, mientras que en el norte y el sureste de México dichas tasas son mucho mayores, rebasando más de 5.0°C por siglo en algunas zonas.

Tomando en cuenta que la tasa de aumento en la temperatura promedio de México durante el periodo 1975-2021 fue de 0.3°C por década, se espera que el calentamiento supere los 1.5°C con respecto al periodo preindustrial en los próximos 3 a 5 años, y los 2.0°C para 2040, sobrepasando el umbral de los 2.0°C del Acuerdo de París para la década de 2050 (Pincc, 2022) (*figura 5*).

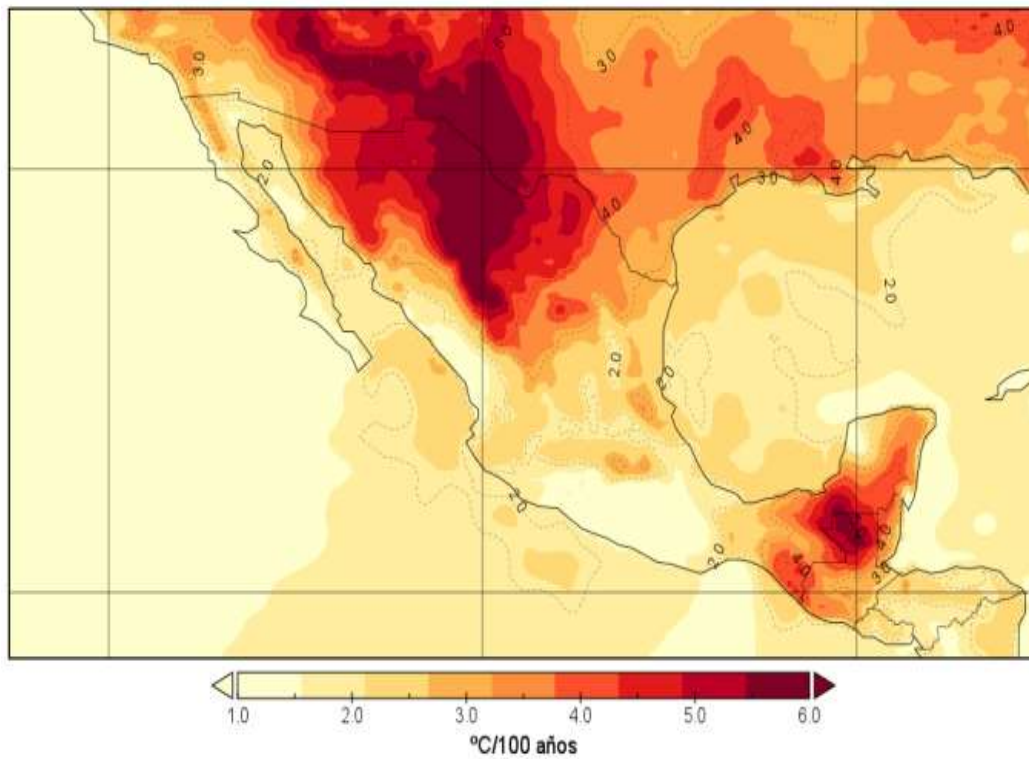
Figura 5. El 2021 fue el cuarto año más caluroso en México del que se tenga registro



Nota: climatología de referencia 1880-1910. HP se refiere a la tendencia obtenida con el filtro Hodrick-Prescott y STL a la tendencia obtenida con el procedimiento de descomposición de Cleveland (Hodrick and Prescott, 1997).

Fuente: Pincc (2022), ICAYCC, UNAM (2023).

Figura 6. Tasa de aumento en la temperatura media anual (1979-2020)



PINCC-UNAM. Datos ERA5, KNMI.

Fuente: Pincc (2022).

Además de los cambios en el clima esperados, en México se han desarrollado evaluaciones de vulnerabilidad de diversos sectores. Existe evidencia de que los efectos del cambio climático tendrán consecuencias ecológicas, económicas y sociales en México (Sarukhán *et al.*, 2012). Para enfrentar los efectos del cambio climático, es necesario que los gobiernos subnacionales y locales de México, así como su población, desarrollen capacidades adaptativas ante los posibles impactos adversos del clima, es decir, capacidades preventivas y de respuesta ante las afectaciones y consecuencias que puedan surgir.

México presentó en 2022, ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la actualización de su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés)¹ en concordancia con la Ley General de Cambio Climático (LGCC) y el artículo 4° del Acuerdo de París, y de conformidad con las decisiones 1/CP.21 y 4/CMA.1 y su anexo. El fenómeno de calor extremo y sus múltiples causas e impactos se ligan de manera muy estrecha con los cinco ejes temáticos de la NDC en materia de adaptación al cambio climático (*tabla 1*).

Tabla 1. Vinculación del calor extremo con los ejes de la NDC en materia de adaptación al cambio climático

Eje de la NDC en materia de Adaptación al Cambio Climático	Posible relación con Calor Extremo
a) Prevención y atención de impactos negativos en la población humana y en el territorio.	Consecuencias en la población humana de los efectos a la salud del calor extremo.
b) Sistemas productivos resilientes y seguridad alimentaria	Consecuencias en los sistemas productivos y consumo de alimentos; así como posibles consecuencias por enfermedades, etc. Será necesario profundizar en los efectos que el calor extremo tiene en los sistemas productivos que garantizan la seguridad alimentaria.
c) Conservación, restauración y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos.	Vinculación con los ecosistemas para definir estrategias que permitan reducir el efecto del calor extremo en ciudades.
d) Gestión integrada de los recursos hídricos con enfoque de cambio climático.	Efectos del Calor Extremo en las fuentes de abastecimiento de agua, situación de presas en temporadas de sequías. Será necesario profundizar en los efectos que tiene el calor extremo en los procesos de gestión del agua, asegurando su abastecimiento, así como calidad.
e) Protección de infraestructura estratégica y del patrimonio cultural tangible.	Será necesario profundizar en los efectos que tiene el calor extremo en la infraestructura estratégica y patrimonio cultural tangible.

Fuente: Elaboración propia, Centro Eure (2024).

Como parte de este compromiso, en México se ha iniciado un proceso de construcción de abajo hacia arriba para la política de adaptación al cambio climático en el que se escucha a la gente, a los pueblos indígenas y su conocimiento ancestral, a las mujeres y jóvenes, y se busca apoyar las soluciones que emanan del pueblo.

En un sentido, el proceso de adaptación al cambio climático es una forma de resistencia y lucha que tiende a empoderar a las comunidades y ciudadanos que defienden sus espacios y territorios, así como sus formas de vida, porque se ven afectadas por problemas multifactoriales que se acentúan con el cambio climático.

¹ https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico_NDC_UNFCCC_update2022_FINAL.pdf

Sin embargo, existen todavía brechas muy importantes en los gobiernos estatales –y en consecuencia en los municipales– respecto al conjunto de instrumentos legales y de planeación para enfrentar el cambio climático.

Entre las brechas más sobresalientes se encuentran el Reglamento Estatal de Cambio Climático, los Planes Estatales de Inversión Climática, las Iniciativas Estatales de Reducción de Emisiones, la falta del uso de instrumentos financieros con el sector privado y la falta de un presupuesto estatal de carbono en su ambición NDC (SEMADET Jalisco, 2021: 7).

A estas brechas se puede agregar que el fenómeno de calor extremo no está considerado en específico en dichos instrumentos, lo que agrega complejidad para el análisis del fenómeno y para que sea considerado con la prioridad que exige en la legislación y en las políticas públicas.

Se ha diseñado un indicador con el objetivo de identificar y comparar el estatus actual de cada gobierno subnacional respecto a sus instrumentos de acción climática (Box 1 y figura 7). El indicador mide el nivel de implementación de los instrumentos de acción climática que se manejan por los gobiernos subnacionales en México, alineados a las metodologías nacionales e internacionales aceptadas por la comunidad científica internacional en materia de acción climática, principalmente toma como referencia los Acuerdos de París y las metodologías del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, la Comisión de Naciones Unidas para el Cambio Climático y las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC).

El valor del indicador oscila entre 0 y 1 (o entre 0 y 100 visto como porcentaje), siendo 1 la implementación total de los 22 instrumentos de planeación y política para la acción climática organizados en 5 categorías: marco legal, arreglos institucionales, instrumentos de política ambiental, instrumentos financieros y mecanismos para incrementar la ambición de las NDC desde el ámbito estatal. En el 2020, el coeficiente promedio nacional fue de 45.6%, mientras que en 2021 fue de 50%, cabe mencionar que cambio porcentual es muy valioso, ya que a pesar que algunos estados corrigieron datos en los que se eliminaron instrumentos al 2021, el porcentaje nacional tuvo un aumento (SEMADET Jalisco, 2021: 15-16).

Box 1. Limitaciones estatales de instrumentos legales y de planeación para la acción climática.

Marco Legal al 2021. Debido a la importancia que tiene el Marco Legal como instrumento para la acción climática, la carencia de una Ley Estatal de Cambio Climático es una carencia relevante, igual que su reglamento estatal para dicha ley. ‘El marco legal proporciona las bases sobre las cuales se construyen las instituciones y determinan el alcance y naturaleza de la participación política. El marco legal faculta a la autoridad electoral para que lleve a cabo las labores de administración de la elección de conformidad a la estructura detallada dentro de sus mismas provisiones’ (Enciclopedia ACE, 2020). Las leyes emitidas por los Congresos Locales comprenden ciertas disposiciones que en determinada circunstancia llegan a tener incidencia en los municipios (INAFED, 2019). Los reglamentos son los documentos en los que se especifican las condiciones en las que se aplica el contenido de uno o varios artículos. Para la aplicación de un artículo es importante que exista un reglamento que lo respalde, ‘si un artículo de cualquier ley no está reglamentado, en la práctica es

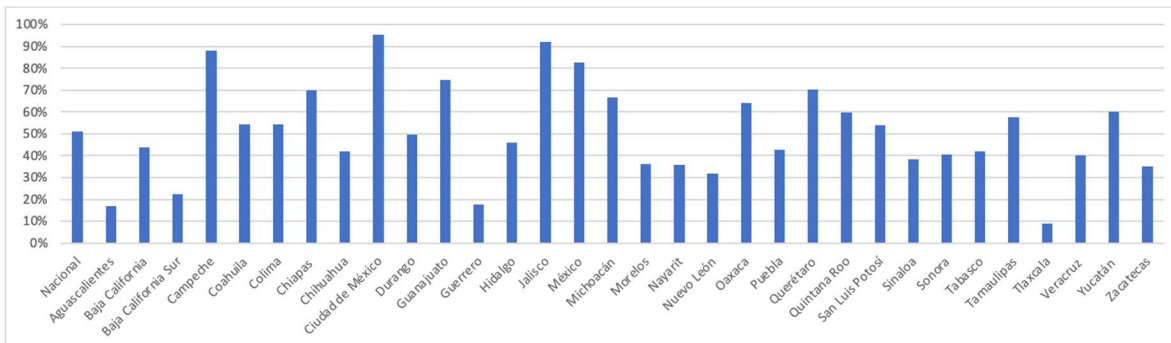
como si dicho artículo no existiera’ (Albert, 2019: 291). En términos estrictos, para el alcance de un marco legal robusto donde se cuente con una Ley Estatal acompañada de su Reglamento Estatal para la acción climática para los 32 gobiernos subnacionales se tiene una brecha para su alcance de 81.3% (62.5% solo para reglamentos y 18.8% para leyes con sus reglamentos).

Arreglos institucionales al 2021. Los arreglos institucionales para la acción climática que se contemplan son: la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) y el Consejo de Cambio Climático. La Comisión Intersecretarial es el órgano colegiado que promueve la coordinación de acciones entre las dependencias y entidades de la Administración Pública Estatal en materia de cambio climático. Por otra parte, el Consejo de Cambio Climático es el órgano de consulta de la CICC y está integrado por miembros provenientes de los sectores sociales, privado y académico, que tienen experiencia en Cambio Climático (SINACC, 2021). Al analizar ambos arreglos institucionales de manera conjunta, observamos que 12.5% no tiene ningún tipo de arreglo institucional, mientras que 65.6% de las entidades, a pesar de tener una CICC, no cuentan con un Consejo, solo 21.9% tiene una CICC junto con su Consejo.

Reglas de Operación. Otro aspecto a tomar en cuenta en la CICC son sus Reglas de Operación. Las ROP son un conjunto de disposiciones que determinan la forma de operar, con el propósito de lograr los niveles esperados de eficacia, eficiencia, equidad y transparencia. De acuerdo con los resultados de los 28 estados que cuentan con una CICC, solo 16 de ellos cuentan con Reglas de Operación. Por último, además de contar con una CICC, es importante que dicho órgano se mantenga vigente; en el caso de cuatro estados su CICC no ha sesionado en los últimos 4 años. En un sentido estricto solo cinco gobiernos de 32 tienen una CICC con ROP y han sesionado en los últimos 4 años, al mismo tiempo que tienen un Consejo Social de Cambio Climático, mientras que el resto de los gobiernos tiene algún tipo de brecha, ya sea por vigencia, falta de ROP o un consejo social”.

Fuente: SEMADET Jalisco (2021: 10).

Figura 7. Coeficiente de Capacidades Institucionales para la Acción Climática, 2021



Fuente: SEMADET Jalisco (2021: 16).

Compromisos de adaptación en la NDC. México también incluye un componente de adaptación dentro de sus NDC, con compromisos al 2030 que buscan proteger a la población de los impactos del cambio climático, como los fenómenos hidrometeorológicos extremos. Al mismo tiempo se pretende aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica del país y de los ecosistemas (Rivas *et al.*, 2021: 100). Algunas de las metas específicas más relevantes son:

- Fortalecer la capacidad adaptativa de al menos 50% de los municipios más vulnerables del territorio nacional.
- Establecer sistemas de alerta temprana y gestión de riesgo en todos los órdenes de gobierno.
- Alcanzar una tasa cero de deforestación.

Estas metas reconocen que las acciones locales tienen menor complejidad política e incertidumbre que los acuerdos internacionales, y que revertir el deterioro ambiental es una opción económicamente atractiva que tiene además cobeneficios en salud, calidad del aire y espacios públicos (Estrada, Porrúa, 2019: lámina 10).

Se recomienda que estas metas y objetivos sigan los principios del acrónimo SMART (Rivas *et al.*, 2021: 100):

- **Específicos (S, specific).** Aborda un tema específico, el objetivo es preciso e inequívoco. Una meta específica responde a interrogantes como: ¿qué estamos tratando de hacer?, ¿por qué es importante?, ¿quién lo realizará? y ¿cómo se logrará?
- **Medibles (M, measurable).** Es posible medir cuantitativamente el progreso hacia el objetivo. Se deben considerar las siguientes preguntas: ¿cómo sabremos cuándo se logró el objetivo? y ¿cómo realizaremos las mediciones correspondientes?
- **Alcanzables (A, achievable).** La meta se puede lograr y es posible determinar si se puede alcanzar en el tiempo disponible. Para orientar la definición de objetivos, los gobiernos locales pueden preguntarse lo siguiente: ¿conocemos los factores de riesgo y otras limitantes que pueden influenciar el resultado?, ¿las iniciativas propuestas se han realizado antes o en otros lugares?
- **Realistas (R, realistic).** Se evalúa en términos de recursos disponibles, tiempo y costos. Algunas preguntas útiles para determinar si un objetivo es realista son: ¿tenemos los recursos necesarios para alcanzar el objetivo? Si no, ¿podemos asegurar recursos adicionales? o ¿podemos replantear recursos financieros y humanos para hacer posible el objetivo?
- **Acotados en el tiempo (T, time-bound).** Es necesario definir plazos concretos para alcanzar la meta, contestando lo siguiente: ¿cuándo se logrará el objetivo?, ¿las fechas límite son claras y realistas?

La siguiente tabla muestra un ejemplo de objetivos SMART para dos acciones concretas:

Tabla 2. Ejemplos de metas y objetivos SMART

Meta / Objetivo	Criterios SMART
Mitigar emisiones a través del mejoramiento del desempeño energético de edificios	S: Se enfoca en un servicio o producto específico, por ejemplo, calentadores solares en edificios residenciales.
	M: Define el desempeño respecto de la línea base: número de calentadores, número de viviendas o edificios que cuentan con un calentador, penetración tecnológica.
	A: Se establecen estándares de desempeño ligados a tecnologías disponibles en el mercado local.
	R: Se asegura que el producto es aceptado por el grupo objetivo y que se recabó el apoyo del sector privado para facilitar su implementación.
	T: Se definen plazos para la instalación de calentadores, de preferencia indicando porcentajes de avance anuales.
Reducir la vulnerabilidad de la población	S: Se enfoca en grupos vulnerables a un peligro específico, como personas adultas mayores o grupos socioeconómicamente desfavorecidos que se ven afectados por ondas de calor.
	M: Plantea el monitoreo de cambios en las tendencias de indicadores de salud (por ejemplo, mortalidad y morbilidad) en comparación con información base (datos históricos).
	A: Replica iniciativas exitosas en otros países y las adapta al contexto específico del Municipio.
	R: Se asegura que la iniciativa se incorpora en la estrategia y asignaciones presupuestarias existentes del sector salud.
	T: Vincula el objetivo cuantificable (cambios en los indicadores de salud) con un periodo de tiempo específico.

Fuente: Elaboración propia, Centro Eure, con datos de Rivas *et al.* (2021).

También se debe reconocer que existen diferentes tipos de objetivos. En general, para el Plan de Acción Climática (PAC) se recomienda contar los siguientes (Rivas *et al.*, 2021: 101):

- **Generales.** Expresan el resultado principal o impacto definitivo del PAC en términos de mitigación y adaptación. Reflejan las aspiraciones estratégicas del municipio y se pueden derivar de la visión del documento.
- **Específicos.** Corresponden a metas que se deben alcanzar para lograr el objetivo general. Pueden ser metas u objetivos de reducción de emisiones o adaptación por sector a atender dentro del municipio.
- **Operacionales.**
- Son objetivos directamente verificables o entregables esperados. Su logro generalmente está bajo control directo de quienes implementan el PAC. Algunos ejemplos son: construir un número específico de ciclovías, desarrollar infraestructura hidráulica, instalar un sistema de captura de metano en el relleno sanitario, entre otros.

1.5 Notas sobre experiencias y acciones internacionales para enfrentar el calor extremo

ISO: Zero-energy buildings (Edificios de energía cero). El sector de la construcción contribuye con casi el 40% de todas las emisiones globales de gases de efecto invernadero, lo que representa un desafío significativo en la lucha contra el cambio climático. Si se logra tener emisiones netas cero en los edificios, esto podría cambiar el mundo. Esto sí, es posible, y se ha publicado una nueva guía que nos muestra cómo.

ISO/TS 23764, La metodología para lograr edificios de energía cero no residenciales (ZEBs). Describe un enfoque paso a paso que las organizaciones pueden seguir para reducir el consumo de energía de los edificios que ocupan y contrarrestarlo con fuentes renovables. La especificación técnica considera elementos como calefacción, refrigeración, agua caliente, iluminación, ascensores, el uso de energía renovable, gestión de energía y más. El Dr. Toshihiro Nonaka, coordinador del grupo de expertos que desarrollaron las guías arriba mostradas, ha dicho que conforme nos acercamos a la COP26, más y más líderes y organizaciones buscan soluciones al reto climático.¹

ISO: Edificios neutrales en carbono: Cómo reducir las facturas de energía y contribuir al impulso positivo de la reducción de emisiones de carbono.²

Box 2. ¿Cómo construimos ciudades sostenibles del futuro?

Nuestras ciudades producen la mayor parte de las emisiones de carbono del mundo. ¿Qué podemos hacer para reducir su impacto en el clima y cómo pueden ayudar las Normas Internacionales? <https://www.iso.org/news/ref2757.html>

"Gran parte del mundo vive en ciudades: el 56% de la población mundial reside en ciudades, en comparación con el 36 % de hace cincuenta años. Un informe de las Naciones Unidas en 2018 predijo que estas cifras alcanzarán el 68% —dos de cada tres personas— para 2050. Hay varios factores que han empujado a las personas hacia los centros urbanos, incluyendo la búsqueda de una mejor educación y empleos mejor remunerados, así como el impacto de nuestro clima cambiante, que hace que las áreas rurales sean menos habitables.

A medida que han crecido, nuestras ciudades han generado cada vez más emisiones de carbono, y ahora contribuyen aproximadamente al 70% de las emisiones de CO₂ del mundo provenientes de la energía. Dado que las ciudades son responsables de una gran proporción de las emisiones de CO₂, son un buen objetivo para cambios que podrían aliviar el impacto de estas emisiones en el clima mundial. Y al desarrollar e implementar Normas Internacionales para la planificación y construcción de ciudades, podemos hacer que estos cambios sean efectivos y eficientes."

Actualizando nuestro transporte. Un tercio de las emisiones de las ciudades provienen del transporte. Autobuses, trenes, tranvías, taxis, coches: todos son medios esenciales para que los habitantes de la ciudad lleguen al trabajo o a la escuela y disfruten del lugar en el que viven. Una ciudad con menor huella de carbono sería aquella que apoya el transporte público en lugar del uso de coches individuales, facilita el uso de bicicletas y caminatas, e incentiva el uso hacia vehículos eléctricos o de biocombustibles en lugar de gasolina y diésel. En Copenhague, por ejemplo, la ciudad introdujo un concepto llamado "olas

¹ <https://www.iso.org/news/ref2744.html>

² <https://www.iso.org/news/ref2756.html>

verdes": donde anteriormente los semáforos priorizaban a los coches, ahora priorizan a las bicicletas. Este cambio redujo el número de paradas para los ciclistas de un promedio de seis por viaje a menos de una. Si bien el cambio aumentó los tiempos de los autobuses, la ciudad ha rediseñado el sistema utilizando datos de los viajes en autobús para compartir la prioridad entre bicicletas y transporte público.

Datos para ciudades inteligentes. No solo el tráfico y el transporte pueden ser monitoreados y mejorados a través del análisis de datos. Las ciudades inteligentes—ciudades que recopilan, analizan y toman decisiones basadas en datos—están destinadas a ser el futuro de la vida urbana. Los datos de teléfonos, de monitores en y sobre edificios, así como de los sistemas de agua y energía, pueden usarse para determinar qué se está utilizando dónde y cómo se puede hacer más eficiente. En 2020, Singapur inauguró el Smart Urban Co-Innovation Lab, una colaboración de doscientos empresas, incluyendo gigantes como Amazon y Microsoft, que buscará innovar utilizando datos, inteligencia artificial y aprendizaje automático. El objetivo es mejorar seis áreas industriales clave para el estado de la ciudad, incluyendo sostenibilidad y agricultura urbana.

Construyendo resiliencia climática. Mientras las ciudades trabajan para reducir su impacto en el medio ambiente, también deben construir una mejor resiliencia ante un clima cambiante. El Dr. Bernard Gindroz, presidente del comité técnico ISO/TC 268, Ciudades y comunidades sostenibles, dijo que, en la COP26, "las ciudades se enfrentan cada vez más a choques, incluidos eventos extremos naturales o provocados por el hombre. Una ciudad resiliente es capaz de prepararse, recuperarse y adaptar sus sistemas y procesos para asegurar que sean lo más robustos posible frente a choques y tensiones".

Esto podría significar reparar defensas naturales contra inundaciones, como el programa *Room for the River* en los Países Bajos, o desarrollar agricultura urbana para alimentar a la población de manera más sostenible. Podría implicar la implementación de políticas para fomentar la instalación de paneles solares en edificios, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles, como ha demostrado ser exitoso en Los Ángeles, y la adhesión a un desarrollo de bajo impacto que prevenga el escurrimiento de agua y fomente la infiltración del agua en el suelo. Históricamente, las ciudades han sido grandes impulsores del cambio climático, pero ahora pueden ser actores clave en la reducción del impacto humano en el medio ambiente. Y esto se puede lograr de manera más fácil y eficiente con el desarrollo y uso de Normas Internacionales.

Apoyo a los líderes de las ciudades. Las Normas Internacionales son una ayuda esencial para cualquiera que busque mejorar la manera en que el mundo construido interactúa con el medio ambiente, desde los responsables de políticas hasta planificadores y desarrolladores, así como comunidades. Promueven la comprensión de las mejores prácticas y proporcionan indicadores clave para medir el éxito. Dado que los gobiernos locales juegan un papel fundamental en el desarrollo de las ciudades, las normas dirigidas a los líderes urbanos pueden ser de particular ayuda para impulsar el desarrollo sostenible.

Por ejemplo, la ISO 37101 puede ser utilizada por líderes que trabajan dentro de las múltiples comunidades que conforman una ciudad. Les ayuda a apoyar el desarrollo sostenible en aspectos como la salud y el bienestar, el transporte y la gestión ambiental. Las normas acordadas internacionalmente son vitales desde edificios individuales hasta grandes desarrollos urbanos. Las normas pueden ayudar a los gobiernos a interactuar con las comunidades y mejorar la participación de las personas que viven en espacios urbanos. Apoyan el progreso en cada etapa de un proyecto de construcción, desde la estrategia y la planificación hasta la construcción y, de hecho, para maximizar la vida útil de un edificio.

Enfoque racional. Las normas ISO también mantienen a las personas en el centro del desarrollo, asegurando que, al construir ciudades para la resiliencia y la sostenibilidad, también las construimos para la salud y la prosperidad. El subcomité SC 1 de la ISO/TC 268 sobre infraestructura de comunidades inteligentes, que mantiene la ISO 37101, se enfoca en crear infraestructura comunitaria local que mantenga el medio ambiente saludable para el planeta y la población urbana. Como explica el Dr. Gindroz, "las normas apoyan un enfoque racional para el desarrollo urbano, con visiones a largo plazo que están claramente definidas por estrategias y hojas de ruta. Al aprender de las mejores prácticas, podemos reducir el riesgo en la toma de decisiones e infundir confianza en los desarrollos sostenibles desde las comunidades. El comité de ISO para ciudades y

comunidades sostenibles está trabajando para desarrollar nuevas normas urbanas que puedan ayudar a frenar el cambio climático.

Las normas incluirán marcos y guías para planificadores que buscan desarrollar ciudades inteligentes y resilientes que atiendan a su población de manera sostenible. Con dos tercios de nosotros proyectados para vivir en entornos urbanos para 2050, la guía de ISO puede proporcionar a los líderes de los sectores público, privado y voluntario modelos para asegurar que nuestras futuras ciudades sean centradas en el ciudadano y colaborativas, así como conectadas a través de la tecnología. Las normas que ayudan a las ciudades a volverse más sostenibles también son una poderosa ilustración de la Declaración de Londres de ISO, firmada por miembros de ISO en 165 países: un compromiso para asegurar que las Normas Internacionales de ISO y las publicaciones técnicas ayuden a acelerar el logro exitoso del Acuerdo de París, los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y el Llamado a la Acción de las Naciones Unidas sobre Adaptación y Resiliencia."

1.6 Capacidades institucionales de las entidades federativas para la acción climática

En general, las capacidades institucionales municipales para enfrentar las consecuencias del cambio climático y en particular las del calor extremo, se asocian a las propias de los gobiernos estatales. El análisis de trayectorias 2020-2021 de los gobiernos estatales en los que se ubican las ciudades piloto (municipios), respecto a sus capacidades institucionales para contar con los instrumentos legislativos y de planeación frente al cambio climático, aporta una idea de los avances logrados por este ámbito de gobierno y, en consecuencia, permite asumir que una situación similar podría ocurrir con los gobiernos municipales de cada entidad.¹

De acuerdo con el Diagnóstico de Capacidades Institucionales de los Gobiernos Subnacionales para la Acción Climática 2020-2021 (Gob. de Jalisco *et al.*, 2021), se detectaron diversas trayectorias de los gobiernos estatales por su avance en la implementación de sus instrumentos de política climática, organizándolos en cuatro grupos:

En el **grupo I** se ubicaron los gobiernos estatales "que no cuentan con las bases fundamentales para la acción climática, un marco legal y/o arreglos institucionales, elementos que en el resto de los estados se ven presentes [...] Este grupo se caracteriza por no contar con ningún tipo de portafolio de financiamiento [y] necesitan un acompañamiento para comenzar con el desarrollo de sus bases fundamentales para la acción climática (Ley, Reglamento o CICC) [...] En este grupo están: Aguascalientes, Guerrero, Tlaxcala, Baja California Sur, Morelos, Nayarit, **Sinaloa** y Veracruz" (Gob. de Jalisco *et al.*, 2021: 17). En este grupo se ubica el municipio de Culiacán como caso piloto del presente reporte.

En el **grupo II** se ubican estados "con avances en su marco legal y arreglos institucionales. Sin embargo, aún requiere continuar desarrollando algunos instrumentos clave de política para la acción climática y de sus arreglos institucionales (consejo o CICC vigente). Su mayor área de oportunidad es la definición de ambiciones NDC y desarrollar su portafolio de financiamiento [...] En este grupo están: Tabasco, Sonora, Chihuahua, Zacatecas, Tamaulipas, Colima, Baja California, Nuevo León, Coahuila, Hidalgo y Quintana Roo" (Gob. de Jalisco, *et al.*, 2021:

¹ Los gráficos sobre los instrumentos legales y de planeación para la acción climática 2020-2021 de las entidades federativas donde se ubican las ciudades piloto (municipios) se tomaron de: Gobierno de Jalisco *et al.* (2021, Anexo 2).

18).

En el **grupo III** se ubican entidades federativas “que presentan consolidación en el área de arreglos institucionales, pues cuentan con una CICC vigente y un consejo social para la acción climática, lo que representa una gran ventaja para fortalecer sus áreas de oportunidad [...] En este grupo podemos identificar: Puebla (sic), Oaxaca, San Luis Potosí, Chiapas, Michoacán y Durango” (Gob. de Jalisco, *et al.*, 2021: 19).

Finalmente, el **grupo IV** “se caracteriza por presentar instrumentos dentro de las cinco categorías: Marco Legal, Arreglos institucionales, Instrumentos de Política y Financiamiento además de una ambición NDC. Presentan madurez en la mayoría de las categorías, lo que hace que su trayectoria permita ampliar sus fuentes de financiamiento internacional y ambiciones NDC, y se encuentran en posición de transferir conocimiento a otras entidades [...] Dentro de este grupo podemos encontrar a: Ciudad de México, Estado de México, Campeche, Guanajuato, Querétaro, Jalisco, Yucatán y Puebla (sic)” (Gob. de Jalisco, *et al.*, 2021: 19).

En conclusión, las ciudades piloto analizadas, como es el caso de Culiacán, Sinaloa, se localizan en entidades federativas con las mayores limitaciones institucionales –jurídicas y de política pública– para enfrentar los problemas derivados del cambio climático y, por ello, para atender adecuadamente las consecuencias del calor extremo, lo que tiende a repercutir en las condiciones institucionales de sus municipios.

II. Diagnóstico del municipio de Culiacán

Como prueba del constante cambio y aumento de la temperatura, de acuerdo con las publicaciones de El Mundo (2023) y conforme a las proyecciones del servicio Copernicus, el 2023 entrará en la historia como el año más caluroso jamás registrado, confirmando un récord en el mes de octubre, con una temperatura media en la superficie terrestre de 15.3 °C (superior en 1.7°C a las habituales para esas fechas en la era preindustrial).

Para enfrentar los efectos del cambio climático, es necesario que los gobiernos locales de México, así como su población, diagnostiquen las capacidades adaptativas ante los impactos adversos del clima, como el crecimiento de las temperaturas extremas, especialmente en las ciudades; es decir, capacidades preventivas y de respuesta ante las afectaciones y consecuencias que ya se presentan y frente a los riesgos de su agudizamiento en el futuro inmediato.

2.1 Caracterización del medio físico, urbano y ambiental

2.1.1 Caracterización geográfica

2.1.1.1 Ubicación geográfica

El municipio de Culiacán está ubicado en la región noroeste de México, en el estado de Sinaloa. Limita al norte con el municipio de Badiraguato, Mocorito y el estado de Durango, al sur con el Golfo de California y el municipio de Elota, al este con el municipio de Cosalá, Elota y el estado de Durango, al oeste con los municipios de Navolato, Mocorito, Eldorado y el Golfo de California (IMPLAN, 2021a).

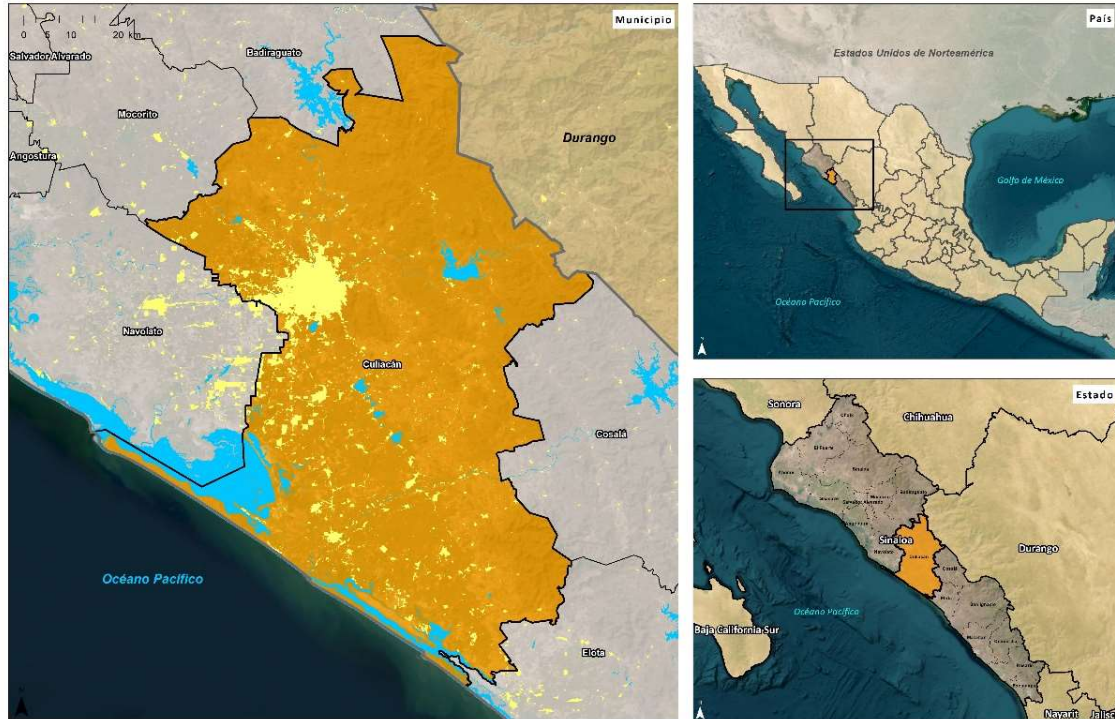
Las coordenadas geográficas que enmarcan el territorio de Culiacán oscilan entre los paralelos 24° 02' y 25° 17' de latitud norte; los meridianos 106° 52' y 107° 50' de longitud oeste; altitud entre 0 y 2,000 msnm (IMPLAN, 2021a). Este municipio se extiende a lo largo de una superficie continental de 5,661.95 km²¹, lo que lo convierte en una región geográficamente diversa.

Una característica relevante de la topografía de Culiacán es su variación altitudinal que va desde los 0 hasta los 1,800 metros sobre el nivel del mar (msnm), con un promedio en la costa del Golfo de California de 55 msnm. La topografía municipal presenta fluctuaciones debido a la presencia de la Sierra Madre Occidental con un impacto significativo en las condiciones climáticas y en la disponibilidad de recursos hídricos en diferentes zonas del municipio (IMPLAN, 2021a).

En cuanto a su población, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el 2020, el municipio de Culiacán albergaba 1,003,530 habitantes (33.2 % de la población estatal). Esta cifra refleja la importancia demográfica en la región y su contribución a la dinámica socioeconómica del estado de Sinaloa y del país en general (Ayuntamiento de Culiacán, 2023).

¹ Superficie continental que considera el ajuste en el límite municipal derivado de la creación del municipio de Eldorado.

Mapa 1. Culiacán, Sinaloa. Ubicación del municipio en el contexto nacional y estatal



Fuente: Centro Eure, 2023; a partir de INEGI (2022). Marco Geoestadístico.

Tabla 3. Culiacán, Sinaloa. Coordenadas geográficas y altitud de la cabecera municipal

Clave INEGI	Municipio	Cabecera municipal	Latitud Norte			Longitud Oeste			Altitud
			Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	
6	Culiacán	Culiacán Rosales	24	48	32	107	23	38	57

Fuente: INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades (2020).

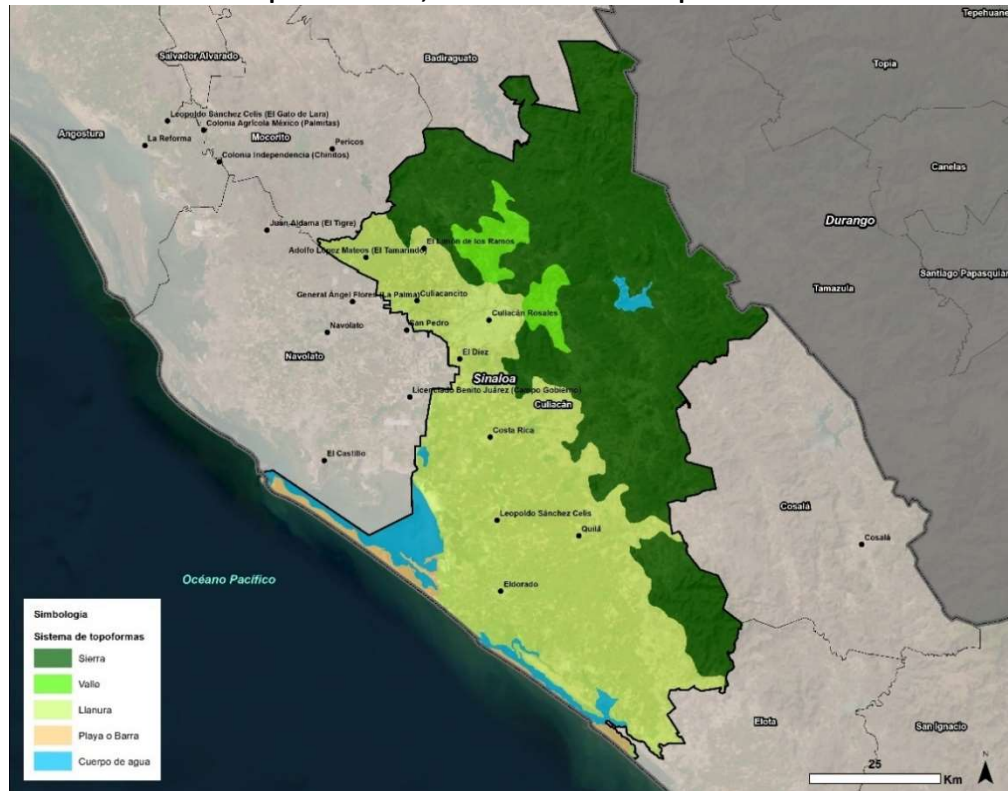
2.1.1.2 Topografía

El municipio de Culiacán se encuentra en una posición geográfica privilegiada, ya que abarca tanto regiones montañosas como áreas costeras, lo que contribuye a su diversidad topográfica (Geolmex, 2021).

La topografía en esta región, específicamente en la zona montañosa, constituye una extensa porción del territorio y se integra en la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre Occidental. En este entorno, las elevaciones experimentan notables cambios, fluctuando en un rango que va desde 0 hasta los 1,800 msnm (IMPLAN, 2021a).

Por otro lado, la topografía costera ofrece un contraste notable con la región montañosa, la llanura costera se extiende a lo largo de la costa del Golfo de California, proporcionando un entorno propicio para la agricultura y el desarrollo urbano. Esta área se caracteriza por su relieve suave y amplias extensiones de terreno plano, que se presta para actividades agrícolas intensivas, incluyendo la producción de hortalizas y frutas de exportación (Mapa 3) (Geolmex, 2021).

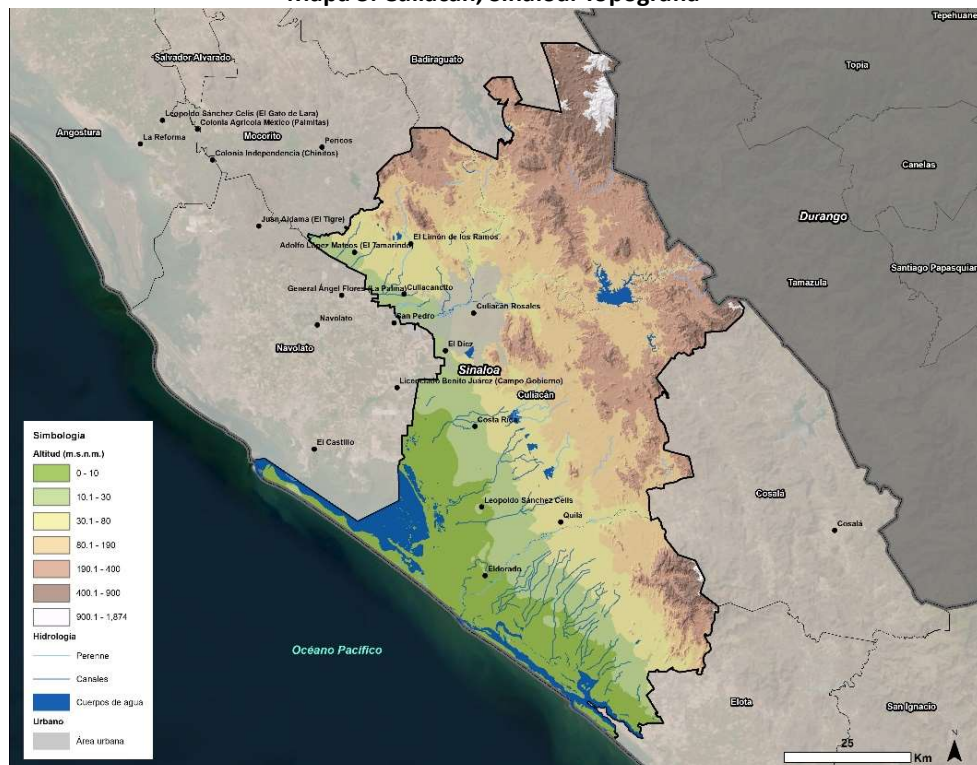
Mapa 2. Culiacán, Sinaloa. Sistema de topoformas



Fuente: INEGI (2001). Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional escala 1:250,000.

32

Mapa 3. Culiacán, Sinaloa. Topografía



Fuente: INEGI (2001). Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional escala 1:250,000

2.1.1.3 Hidrografía

El municipio de Culiacán se ubica en la Región Hidrológica (RH10) Sinaloa, por el cruzan cuatro importantes corrientes hidrológicas que parten de la Sierra Madre Occidental y son los ríos Humaya, Tamazula, Culiacán y San Lorenzo, cada uno de los cuales desempeña un papel crucial en la hidrología de la región (INEGI – CONAGUA, 2007).

El río Humaya, procedente de Durango, penetra en el territorio sinaloense a través del municipio de Badiraguato. Las aguas son reguladas por la presa Licenciado Adolfo López Mateos, lo que tiene un impacto significativo en el flujo y la disponibilidad de agua en la zona. Su curso contribuye a la formación del Río Culiacán (H. Ayuntamiento de Culiacán, 2020).

El río Tamazula, originado en la Sierra Madre Occidental, cerca del valle de Topia, es otro actor hidrológico fundamental en la región. Este río está controlado por la presa Sanalona, que regula su caudal y lo dirige hacia el territorio de Culiacán. El río Culiacán es el resultado de la unión de los ríos Humaya y Tamazula. Esta confluencia da lugar a una corriente principal que atraviesa el municipio de Culiacán y desemboca finalmente en el Golfo de California (H. Ayuntamiento de Culiacán, 2020).

Por último, el río San Lorenzo, que se origina también en la Sierra Madre Occidental, en el estado de Durango, cruza el municipio de Cosalá y culmina su curso en el Golfo de California (INEGI, 2010).

Estas cuatro corrientes hidrológicas delinean la topografía y la dinámica hídrica del municipio de Culiacán, influyendo en su desarrollo económico, la agricultura, la disponibilidad de agua y la calidad de vida de sus habitantes (*Mapa 5*) (H. Ayuntamiento de Culiacán, 2020).

Mapa 4. Culiacán, Sinaloa. Hidrología superficial



Fuente: INEGI-CONAGUA. 2007. Mapa de la Red Hidrográfica Digital de México escala 1:250 000. México.

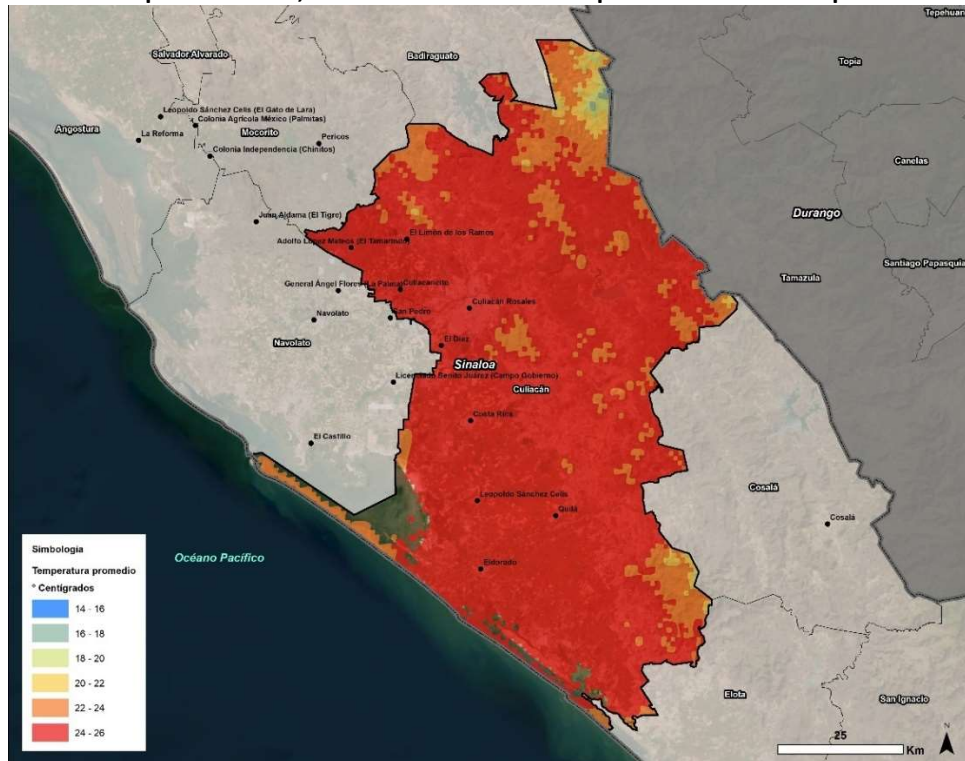
2.1.1.4 Temperatura

34

La temperatura en el municipio de Culiacán es una **variable climática crítica** que está compuesta por una compleja interacción de factores geográficos y meteorológicos, incluyendo la latitud, la proximidad al Océano Pacífico, la topografía local y la estacionalidad de las lluvias.

La **temperatura media anual** del municipio de Culiacán en el periodo 1986 a 2020 es aproximadamente de **25.9°C**, las temperaturas mínimas promedio del año más frío es de 24.5°C y la temperatura promedio del año más caluroso fue de 27.9°C. En 2020 las temperaturas máximas se alcanzaron entre los meses de junio y octubre, siendo septiembre el mes más caluroso con 42.5° (*Mapa 6*) (CONAGUA, 2021).

Mapa 5. Culiacán, Sinaloa. Promedio de temperatura en el municipio



Fuente: Centro Eure, a partir de CONABIO (2023). Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad (SNIB).
Disponible en: <http://www.CONABIO.gob.mx/informacion/gis/> (Consultado 16/08/2023).

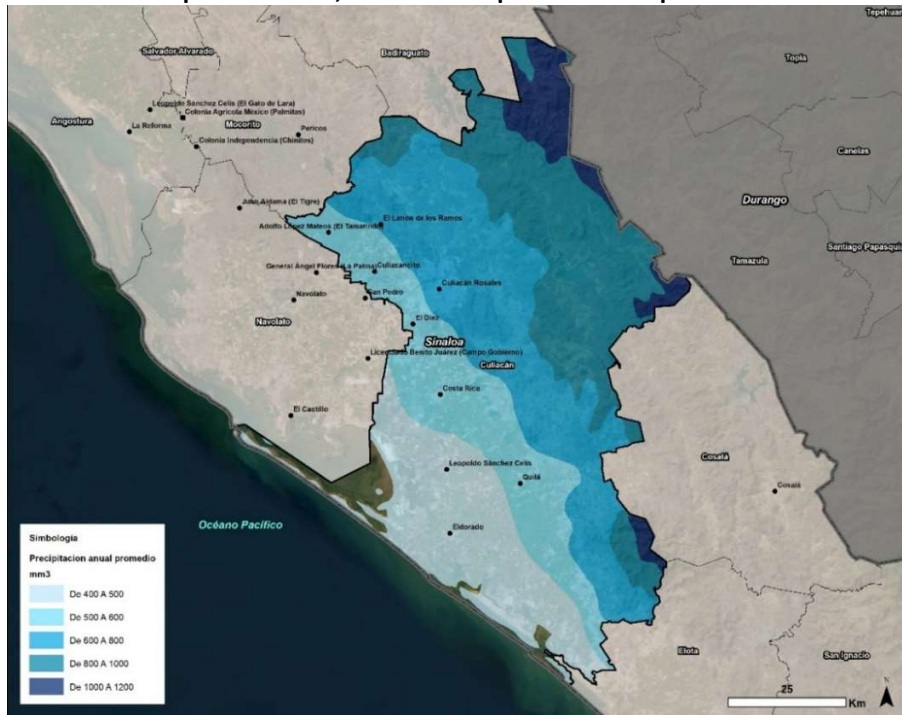
2.1.1.5 Precipitación

La **precipitación** en el municipio exhibe un patrón estacional marcado, con una temporada de lluvias que generalmente abarca los meses de **junio a septiembre**. Durante este período, la región experimenta la mayoría de sus precipitaciones anuales (INEGI, 2021).

La **precipitación total anual** del municipio con base en datos de la CONAGUA en un período de análisis del año 1986 al 2020 tiene una precipitación promedio de **694.7 mm**, en el año más **seco 362.3 mm** y el año más lluvioso **949.7 mm**. Los meses más lluviosos fueron de julio a septiembre, destacando el mes de agosto con mayor presencia de lluvia en el municipio, con 219.3 mm (CONAGUA, 2021).

La influencia de los **vientos que provienen del este y el sureste**, cargados de humedad del Golfo de México, aportan una **fuentes significativa de humedad** que se condensa en forma de precipitación cuando asciende y se enfría al encontrarse con las montañas de la Sierra Madre Occidental que rodean la región (H. Ayuntamiento de Culiacán, 2020).

Mapa 6. Culiacán, Sinaloa. Precipitación anual promedio



Fuente: CONABIO (2023). Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad (SNIB). Disponible en: <http://www.CONABIO.gob.mx/informacion/gis/> (Consultado 16/08/2023).

2.1.1.6 Fisiografía

36

El municipio de Culiacán se localiza en las Provincias Fisiográficas conocidas como: Llanura Costera del Pacífico y Sierra Madre Occidental (H. Ayuntamiento de Culiacán, 2020). La variación en altitud, la influencia de la Sierra Madre Occidental, la topografía costera y los factores climáticos contribuyen a la formación de un mosaico geográfico único que influye en la vida, la economía y el entorno natural de Culiacán (Tabla 4 y mapa 7).

Desde las áreas costeras cercanas al Golfo de California hasta las zonas montañosas que se adentran en la Sierra Madre Occidental, la altitud varía considerablemente. Esta variación altitudinal tiene un impacto directo en las condiciones climáticas y en la biodiversidad de la región. Por ejemplo, las **áreas de mayor altitud tienden a tener temperaturas más frescas y un clima más templado**, lo que influye en la vegetación y en la forma en que se utilizan esas áreas para la agricultura (INEGI, 2010).

La **topografía costera** no solo tiene un impacto en la economía, ya que favorece **actividades** como la **pesca y el turismo**, sino que también juega un papel importante en la **regulación del clima local**. La cercanía al mar modera las temperaturas y puede influir en la formación de sistemas meteorológicos locales (INEGI, 2010).

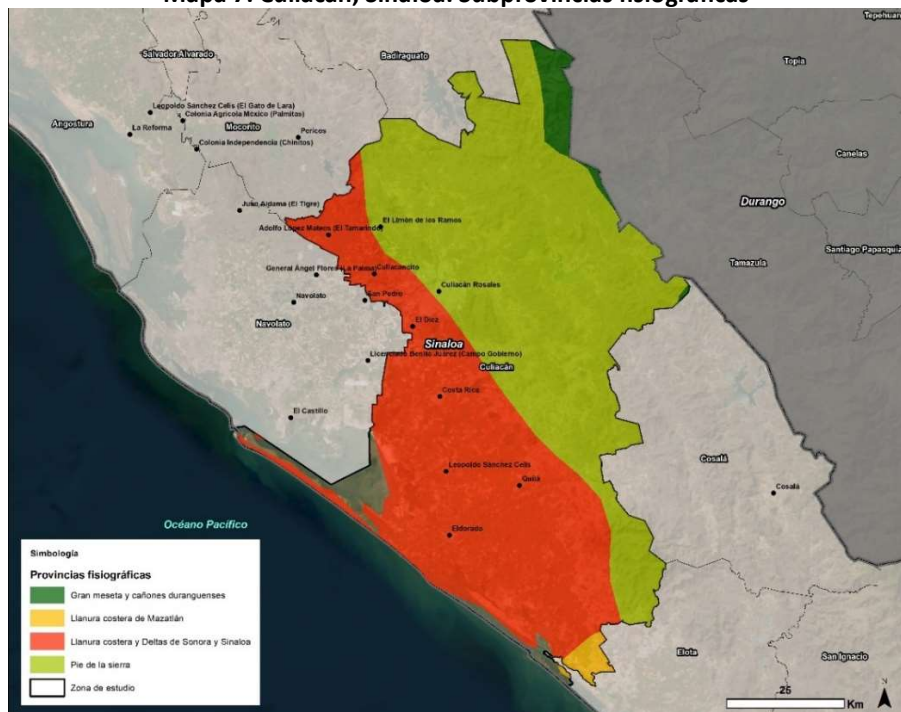
El conjunto de condiciones geográficas da como resultado una **amplia gama de microclimas** en Culiacán, lo que tiene efectos directos en la agricultura, en la disponibilidad de agua y en la adaptación de las comunidades locales a diferentes condiciones climáticas a lo largo de su territorio. (INEGI, 2010) Para más información sobre las provincias y subprovincias del municipio.

Tabla 4. Culiacán, Sinaloa. Fisiografía del municipio

Provincia	Subprovincia	Sistemas de topoformas
Sierra Madre Occidental (50.9%), Llanura Costera del Pacífico (45.3%).	Pie de La Sierra (40.82%), Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa (29.49%), Llanura Costera de Mazatlán (15.81%), Gran Meseta y Cañadas Duranguenses (10.08%).	Sierra baja con lomerío (28.59%), Llanura costera (24.23%), Llanura costera con lomerío (13.52%), Sierra alta con cañones (10.08%), Sierra alta (5.08%), Sierra baja (3.80%), Valle de laderas tendidas con lomerío (3.34%), Llanura costera con ciénegas salina (3.12%), Playa o barra (1.83%), Llanura costera con ciénegas (1.63%), Llanura costera con lomerío de piso rocoso o cementado (0.9%), Llanura costera salina (0.08%).

Fuente: INEGI. Censo de información geográfica municipal Culiacán, Sinaloa (2010).

Mapa 7. Culiacán, Sinaloa. Subprovincias fisiográficas



Fuente: Elaboración propia, Centro Eureka, con datos del Catálogo de metadatos geográficos de CONABIO.

La fisiografía y el conjunto estructural de esta (provincias fisiográficas) es imprescindible para el uso del suelo, ya que se involucran varios factores que influyen en su formación. Entre más factores se tengan de una región, mayor será la descripción del paisaje, pues en esto se basa la fisiografía (Villota, 1989).

Por ejemplo, en una montaña pueden existir tres tipos de hábitats diferentes, y en cada una de estas zonas el suelo presenta diferentes características, clasificaciones, biodiversidad y potencial de uso. De ahí la necesidad de realizar una descripción de la fisiografía como base para los estudios de suelos, que de esta manera también da a conocer los recursos naturales.

En este sentido y conociendo el tipo de suelo, topografía, el clima y la altitud que presentan las regiones fisiográficas caracterizadas anteriormente, es posible observar que la **región por la que atraviesa la Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa es la que cuenta con un suelo adecuado para la agricultura (mayormente vertisol) y el aprovechamiento de recursos naturales, aunque la sobreexplotación de esta zona ha provocado que se encuentre desprovista de vegetación natural por el cambio de uso de suelo.**

2.1.1.7 Edafología

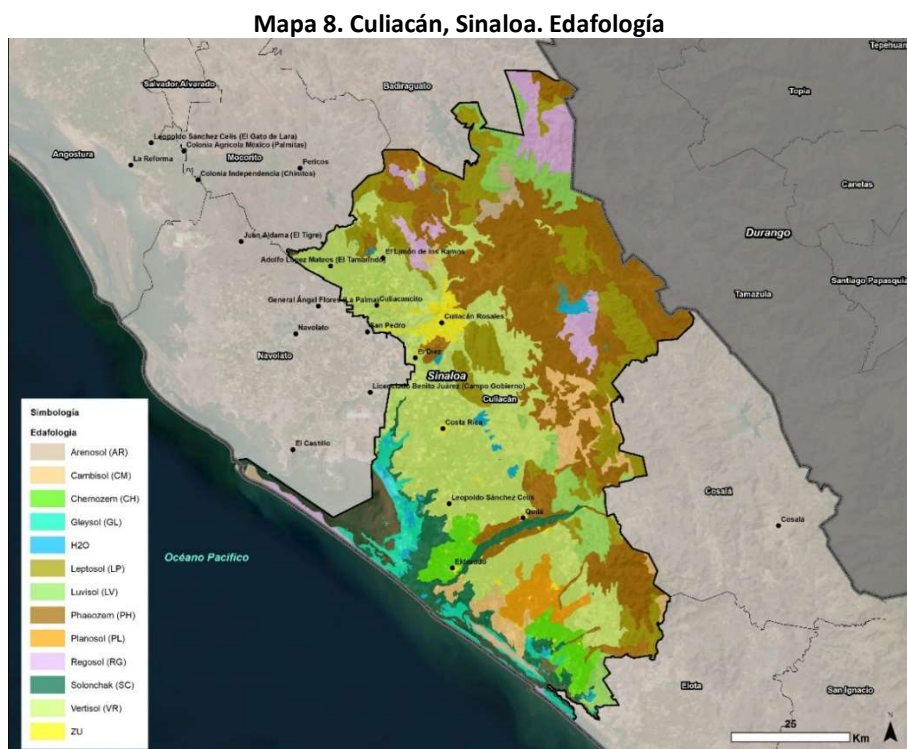
El municipio presenta **varios tipos de suelos** destacando los Cambisol, Feozem, litosol, Fluvisol, Regosol y Vertisol, mismos que se describen a continuación y se pueden visualizar en el Mapa 8:

- I. **Vertisol (27.29% de la superficie):** Suelos de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas (INEGI), que por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad. Su color más común es el negro o gris oscuro en la zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización. Este tipo de suelo cubre parte del sureste, centro y noroeste del municipio (INEGI, 2007).
- II. **Feozem (25.39% de la superficie):** Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, semejante a las capas superficiales de los Chernozems y los Castañozems, pero sin presentar las capas ricas en cal con las que cuentan estos dos tipos de suelos. Son de profundidad muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la **agricultura** de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Este tipo de suelo se presenta en la parte norte, centro y sureste del municipio (INEGI, 2007).
- III. **Litosol (11.82% de la superficie):** Se caracteriza por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión son muy variables dependiendo de otros factores ambientales. Este tipo de suelo se encuentra en parte del centro y sureste del municipio (INEGI, 2007).
- IV. **Luvisol (5.79% de la superficie):** Se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por agua. Son suelos muy poco desarrollados, medianamente profundos y presentan generalmente estructura débil o suelta. Presentan capas alternadas de arena con piedras o gravas redondeadas, como efecto de la corriente y crecidas del agua en los ríos. Este tipo de suelo se encuentra en una franja que se ubica en la parte sur del municipio (INEGI, 2007).
- V. **Regosol (5.19% de la superficie):** Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. Este tipo de suelo se localiza en la parte este y norte del municipio (INEGI, 2007).
- VI. **Solonchak (3.79% de la superficie):** Se presentan en zonas donde se acumula el salitre, tales como lagunas costeras y lechos de lagos, o en las partes más bajas de los valles y llanos de las regiones secas del país.

Tienen alto contenido de sales en todo o alguna parte del suelo. La vegetación típica para este tipo de suelos es el pastizal u otras plantas que toleran el exceso de sal (halófilas). Este tipo de suelo cubre una franja paralela a la línea de costa del municipio (INEGI, 2007).

VII. **Cambisol (3.78% de la superficie):** Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en los de zonas áridas. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. Este tipo de suelo se presenta en la parte sur y oeste del municipio (INEGI, 2007).

Otros tipos de suelo presentes en menor proporción son Chernozem (3.18%), Gleysol (2.84%), Planosol (1.94%), Arenosol (1.48%), Solonetz (0.05%) ((INEGI, 2007).).



Fuente: INEGI (2007). Conjunto de datos vectorial edafológico de la serie II. Escala 1:250,000.

La región de la franja de la Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa, en la que se ubica la ciudad de Culiacán, cuenta con el tipo de suelo vertisol, apto para la agricultura, el aprovechamiento de recursos y con un tipo de vegetación variado como pastizal y plantaciones. Si se extrapola el tipo y uso de suelo que tiene la zona más urbanizada de Culiacán con la de la mayoría del norte del país, es posible ejemplificar las consecuencias del cambio de uso de suelo al igual que otros estudios (Yáñez-Díaz *et al.*, 2017), quienes evaluaron las variaciones diurnas y estacionales en el flujo de CO₂ en Vertisoles bajo cuatro sistemas de uso de suelo en el noreste de México; matorral, pastizal, agrícola y plantación de *Eucalyptus* spp.

Las regiones semiáridas son sensibles a la variabilidad de la precipitación; así, un incremento en la emisión de CO₂ en suelos Vertisoles como respuesta a cambios ambientales, podría tener implicaciones en el balance global del carbono. También es importante destacar que las emisiones de carbono derivadas de los cambios de uso de suelo representan la segunda mayor fuente antrópica de carbono a la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global (Yáñez-Díaz *et al.*, 2017).

2.1.2 Caracterización ambiental

2.1.2.1 Uso de suelo y vegetación

De las 566,195 hectáreas¹ de suelo del municipio, 55% se encuentra artificializada o modificada por la acción humana y 45% mantiene cobertura natural (*Tabla 5*). El 50.5% del suelo se destina a la **agricultura de riego (27.9%) y de temporal (22.6%)**. Los **asentamientos humanos ocupan 3.4% del suelo municipal (19,509 hectáreas)**, entre otros usos de mayor proporción se encuentran la selva baja caducifolia (27.8%), bosque (4.7%) y vegetación secundaria (8.8%) (IMPLAN, 2022).

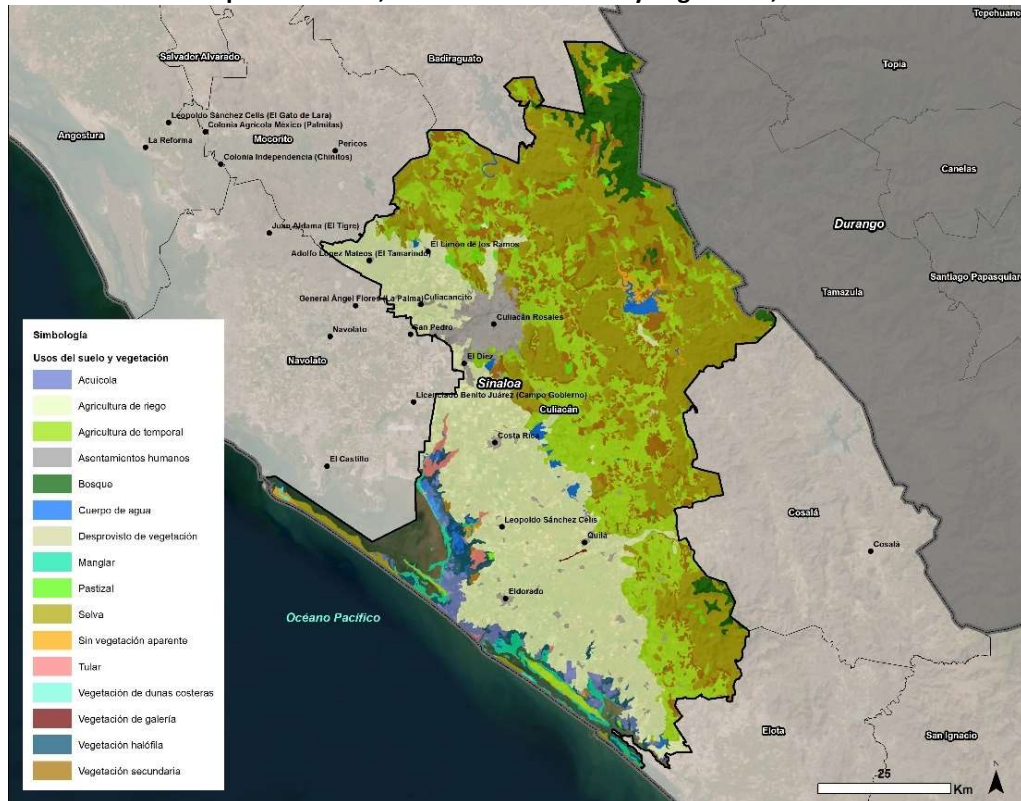
Tabla 5. Culiacán, Sinaloa. Uso de suelo y vegetación, 2021

Uso del suelo	Hectáreas	%
Cobertura artificializada	311,470	55.0
Agricultura de riego	157,827	27.9
Agricultura de temporal	127,890	22.6
Asentamientos humanos	19,509	3.4
Desprovisto de vegetación	127	0.0
Sin vegetación aparente	2,264	0.4
Acuícola	3,853	0.7
Cobertura natural de suelo	254,725	45.0
Bosque	26,414	4.7
Cuerpo de agua	6,138	1.1
Manglar	4,386	0.8
Pastizal	3,238	0.6
Selva baja caducifolia	157,556	27.8
Tular	2,029	0.4
Vegetación de dunas costeras	385	0.1
Vegetación de galería	150	0.0
Vegetación halófila	4,858	0.9
Vegetación secundaria	49,570	8.8
TOTAL	566,195	100.0

Fuente: INEGI (2021). Carta de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie VII.

¹ Superficie continental que considera el ajuste en el límite municipal derivado de la creación del municipio de Eldorado.

Mapa 9. Culiacán, Sinaloa. Uso de suelo y vegetación, 2021



Fuente: INEGI (2021). Carta de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie VII.

2.1.2.2 Biodiversidad y distribución

A. Flora

En el municipio de Culiacán dominan la selva y bosques de coníferas y encinos que se ubican en las zonas montañosas de la Sierra Madre Occidental. Los matorrales se ubican en la zona árida del noroeste del municipio. En los terrenos cercanos a la costa existen numerosas lagunas y esteros de aguas salobres, por lo que ahí se establece el manglar (INEGI, 2021).

B. Fauna

Entre la fauna representativa del municipio en la selva seca está la culebra suelera, sapo, rana y salamandra. Bosque: nutria, tlalcoyote, murciélago y golondrina. Matorral: rata de bosque, ratón, zorrillo pigmeo, musaraña, lagarto escorpión, boa, culebra ojo de gato, coralillo, culebra listonada cuello negro y víbora de cascabel. Manglar: cocodrilo e iguana. En ambientes acuáticos: ballena de aleta, ballena gris, delfín, tortuga y caracol. Animales en peligro de extinción: tigrillo, ocelote, tayra y puerco espín (INEGI, 2021).

2.1.2.3 Áreas Naturales Protegidas

En el municipio se delimita una única Área Natural Protegida (ANP) de jurisdicción municipal decretada el 2 de junio de 2004: la Isla de Orabá con categoría de Parque Urbano de Preservación Ecológica de Centro de Población, ubicada dentro de Las Riberas, la Isla Orabá, como su nombre lo indica es una isla entre la confluencia del río Tamazula y el río Humaya.

La Isla de Orabá se encuentra estratégicamente ubicada en el corazón de la ciudad de Culiacán, en la confluencia de los ríos Humaya y Tamazula. Esta área natural protegida abarca una extensión de 33,200 m² y se distingue por su riqueza en vegetación. Entre las especies vegetales que la caracterizan se encuentran el eucalipto, la pingüica, el guamúchil, el olivo negro, el sauce llorón y diversas variedades de palmeras, así como plantas de ornato que contribuyen a su biodiversidad.

La Isla de Orabá, a pesar de su **ubicación dentro del área urbana**, desempeña un papel relevante como un **espacio natural protegido y área de recreación** para los habitantes de la ciudad. Su preservación y acceso controlado permiten que los residentes de Culiacán disfruten de un entorno natural dentro de la ciudad, promoviendo un equilibrio entre la vida cotidiana y la conservación de la biodiversidad local.

Existen diversas zonas con alto valor ambiental que funcionan como un gran pulmón para la ciudad. En los últimos años, la **expansión de la mancha urbana** y la **falta de cumplimiento en la aplicación de la normativa ambiental** han provocado un deterioro severo en áreas naturales expuestas de manera permanente a daños mayores. Para enfrentar estas amenazas, actualmente se están proponiendo diversas estrategias concretas para la protección y el cuidado de otras áreas naturales. (IMPLAN, 2021).

Ejemplo de ello es que, según el programa de desarrollo urbano del centro de población de Culiacán 2021, deberán declararse Áreas Naturales Protegidas las siguientes zonas:

- I. Sierra de Las 7 Gotas
- II. Cerro de El Tule
- III. Cerro La Guásima
- IV. Cerro La Pitahaya

Por otra parte, las riberas y las islas de los ríos han sufrido alteraciones a consecuencia de prácticas y de manejo inadecuados, modificaciones y **alteraciones a los cauces** para la construcción de **desarrollos inmobiliarios**, degradación de la cubierta vegetal por actividades antrópicas y naturales, además de otras modificaciones a las condiciones ambientales originales de estas zonas.

Para evitar que avance el deterioro, se propuso también continuar con el trámite de concesión de las riberas de los ríos Humaya, Tamazula y Culiacán, incluyendo sus islas, con el fin que sean protegidas y dedicadas únicamente a actividades de conservación, recreación y ecoturismo (*Mapa 10*).

Mapa 10. Culiacán, Sinaloa. Área Natural Protegida Isla de Oraba



Fuente: Centro Eure, a partir de la delimitación en Google Earth. Marco Geoestadístico (INEGI).

2.1.3 Caracterización climatológica

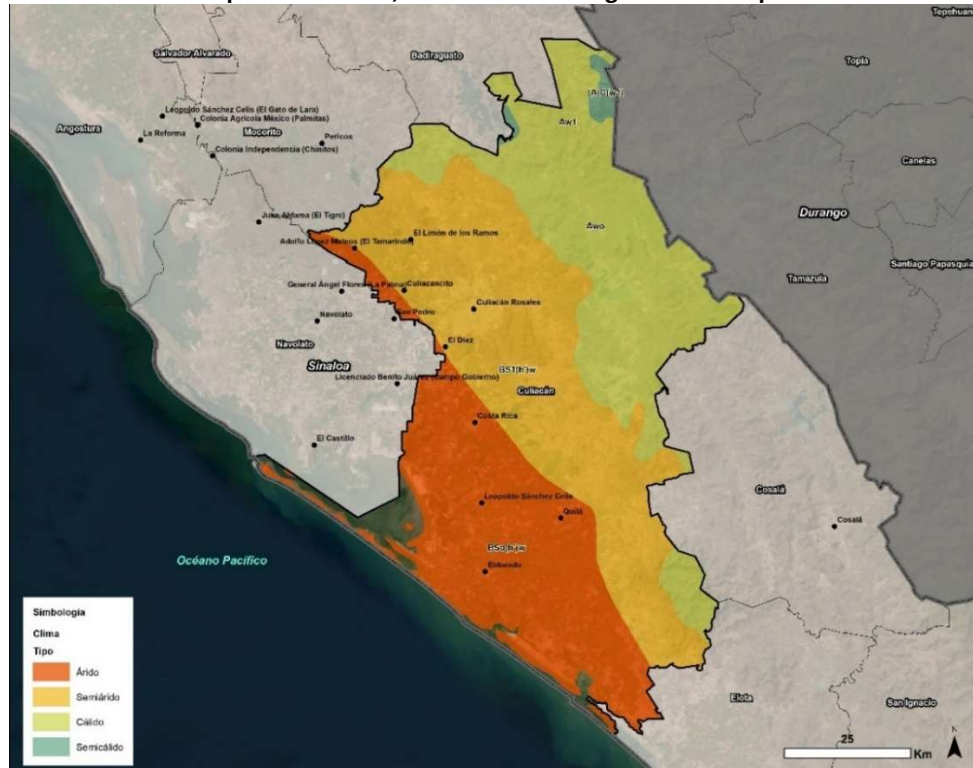
En el municipio de Culiacán el clima se caracteriza por su naturaleza **cálida y semiárida**. La circulación atmosférica, en particular los **vientos** alisios que provienen del este transportan **aire cálido y húmedo** desde el Golfo de México y el Mar de Cortés. Esta corriente de aire, al encontrarse con las montañas de la Sierra Madre Occidental, asciende y se enfría, lo que da lugar a la condensación de la humedad y a la formación de precipitación (IMPLAN, 2021a).

La proximidad del municipio al Océano Pacífico también desempeña un papel importante en el clima de Culiacán, al actuar como un **regulador térmico**. Las aguas cálidas del Pacífico aportan humedad a la región, lo que puede intensificar las precipitaciones durante ciertas estaciones del año.

La característica más distintiva en el clima del municipio de Culiacán es la variación en altitud entre la costa y la Sierra Madre Occidental. Esta variación altitudinal es la principal responsable de la existencia de un clima **cálido semiárido en la región**. La influencia de la altitud también contribuye a la existencia de **microclimas** dentro del municipio, ya que las **áreas de mayor elevación pueden experimentar condiciones climáticas ligeramente diferentes en comparación con las zonas costeras** (IMPLAN, 2021a).

Con base en la clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García, en el municipio se presentan cuatro tipos de clima predominantes árido (22.96%), cálido (32.39%), semiárido (43.5%) y semicálido (1.14%) (Mapa 11).

Mapa 11. Culiacán, Sinaloa. Climatología del municipio



Fuente: INEGI (1992). Conjunto de datos vectoriales del Continuo Nacional. Efectos climáticos regionales. Escala 1:250,000.

Box 3. Reflexión con relación al calor extremo

Reflexión con relación al calor extremo: Esta caracterización detallada del entorno geográfico-ambiental de Culiacán, permite comprender mejor las complejas interacciones entre la topografía, hidrología, tipos de suelo, y otros elementos que influyen en el clima local. El entendimiento de la relación entre estos elementos y la variación de las temperaturas sienta las bases para abordar de manera más efectiva el desafío del calor extremo en la región y, particularmente, en la ciudad. Es decir, el análisis de la relación entre el ecosistema local, los microclimas generados por las variaciones de altitud, el movimiento de los vientos, la precipitación y la humedad, así como la influencia de los usos de suelo en la diversidad natural del lugar permite contar con los elementos de información científica para definir las acciones de prevención, adaptación y mitigación.

Culiacán se distingue por su topografía diversa, desde áreas montañosas hasta zonas bajas y llanuras. Esta variabilidad topográfica influye directamente en la distribución de la temperatura y la circulación del aire.

Además, la hidrología de la región, que incluye ríos y cuerpos de agua, desempeña un papel crucial en la regulación térmica local. Comprender estas características es esencial para generar conciencia en la sociedad sobre la preservación de estos cuerpos de agua, y para anticipar cómo el calor extremo podría afectar diferentes áreas de la ciudad.

Los usos de suelo, desde áreas urbanas hacia zonas agrícolas y naturales, tienen un impacto directo en la capacidad de la región para mitigar el calor extremo. Se identifica cómo las actividades humanas y la planificación del uso del suelo interactúan con la diversidad natural del lugar. Esta evaluación es esencial para identificar áreas vulnerables y desarrollar estrategias adaptativas.

2.1.4 Caracterización físico – territorial

2.1.4.1 Morfología urbana

El **sistema urbano** del municipio de Culiacán se integra de **tres órdenes** jerárquicos:

- El primero es Culiacán Rosales. la capital del estado y cabecera municipal que representa el **80.5%** del total de la población municipal.
- Le sigue la localidad de **Costa Rica** con 28,239 habitantes que constituye el **2.8%** del total poblacional.
- El tercer orden corresponde a otras tres localidades mayores de 5 mil y menores de 10 mil habitantes (1.9%): **El Diez, Quilá y Adolfo López Mateos**; le siguen cuatro localidades mayores de 2,500 y menores de 5 mil habitantes (1.1%): **Culiacancito, Limón de los Ramos y Leopoldo Sánchez Célis**.

Todo el **conjunto urbano equivale al 87.9%** de la población municipal (*Tabla 6*). La única localidad que ejerce una clara centralidad sobre el conjunto es la ciudad de Culiacán, el resto ejerce influencia complementaria sobre su inmediata periferia.

La fortaleza de la **economía agropecuaria y pesquera** del municipio determina que ninguna población urbana se encuentre ubicada en la margen derecha de la carretera internacional número 15 (México-Nogales), con la relativa excepción de El Limón de los Ramos, que se encuentra en esa vía.

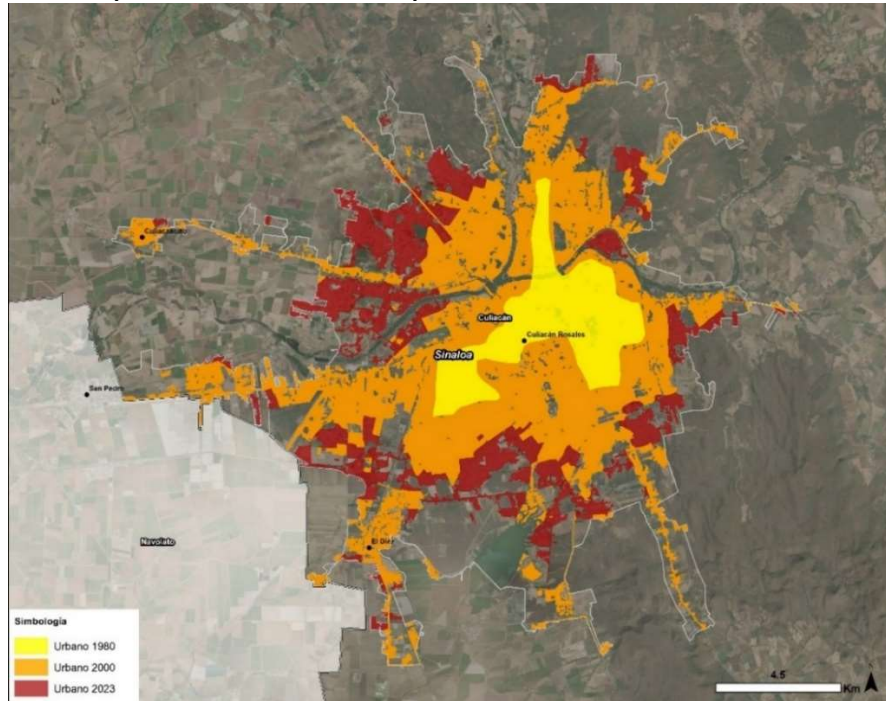
Tabla 6. Culiacán, Sinaloa. Población total, 1990 - 2030

Municipio	Población total					Tasa de Crecimiento Medio Anual (TCMA)		
	1990	2000	2010	2020	2030	2000 - 2010	2010- 2020	2020- 2030
Culiacán	601,123	745,537	858,638	1,003,530	1,014,676	1.3	1.4	0.1

Fuente: SEDATU, CONAPO e INEGI (2018). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015 e INEGI (2020a).

El crecimiento de la mancha urbana se está presentando en los sectores sur y noreste de la ciudad de Culiacán, asentadas en el valle agrícola, que tiene una gran superficie de riego y una agricultura de alto valor agregado. El avance de la economía urbana va a la par de una centralización de población y fuerza laboral derivado de la concentración de actividades económicas y a su conectividad con otras ciudades de la entidad (*Mapa 12*) (IMPLAN, 2021b).

Mapa 12. Culiacán, Sinaloa. Expansión del área urbana, 1980 - 2023



Fuente: Centro Eure a partir de imágenes de satélite Landsat 7, Sentinel 2 e INEGI.

La ciudad de Culiacán ocupa 3.4% del suelo municipal (19,509 ha). La red vial del municipio consiste en 2,855 km de los que 22% se encuentra sin pavimentar. La superficie pavimentada se divide en concreto (37.1%), asfalto (32.7%) y empedrado (1.2%) (Tabla 7) (IMPLAN Culiacán, 2018).

46

El concreto se concentra en el área central, estampado en el centro histórico y simple en las colonias del sur, oriente y norte. El asfalto en cambio es usado para la red de vías primarias y para conjuntos habitacionales en la periferia. La zona con calles sin pavimentar se concentra en los sectores Díaz Ordaz y Abastos al sur y Mirador Tamazula al norte (IMPLAN Culiacán, 2018).

Las diferencias de cobertura de la red vial generan efectos distintos en la temperatura, por lo que su determinación en cada proyecto urbanístico debe considerar su posible impacto en el incremento de la temperatura promedio de la zona donde se ubica.

Tabla 7. Culiacán, Sinaloa. Tipos de cobertura en la red vial

Tipo de cobertura	Km	%
Concreto	1058.1	37.10%
Asfalto	934.7	32.70%
Terracería	627.9	22.00%
Empedrado	35	1.20%
Estampado	11.6	0.40%
Adoquín	0.5	0.00%
N/A	187.7	6.60%
Total	2,855.5	100.00%

Fuente: IMPLAN Culiacán (2018). Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable de Culiacán.

2.1.4.2 Movilidad urbana

Según datos del INEGI (2020) en promedio el 32% de la **población se moviliza en transporte público** a la escuela o al trabajo. De cualquier manera, es un hecho que el transporte público es muy deficiente, que opera en condiciones inadecuadas y con baja calidad de servicio: el 92% de las 64 rutas de transporte tienen su principal parada en el centro de la ciudad incrementando las emisiones de GEI y las temperaturas; el recorrido promedio de los autobuses es de 19.25 km a un promedio de 13.9 km/h; los horarios son muy limitados y gran parte de las unidades se encuentran en mal estado.

En cuanto al transporte entre localidades, autoridades estatales y municipales en el tema afirman que no existe un estudio para determinar las necesidades y desarrollar propuestas para mejorarlo; las rutas son prácticamente determinadas por los permisionarios.

En el sistema de transporte público operan servicios de pasajeros mediante taxis y también con aplicaciones de celular (por ejemplo, Uber). Estos servicios de transporte público individual requieren regulación, considerando que representan competencia con el sistema de taxis, lo que genera diferendos que afectan a ambos. No existen servicios de auto compartido en la ciudad.

El **transporte colectivo de pasajeros** se divide en tres: transporte urbano (rutas que cubren la zona urbana de la ciudad de Culiacán de Rosales); transporte suburbano (rutas que cubren recorridos de Culiacán a localidades parte de la zona metropolitana, en especial Navolato, El Diez, Culiacancito y San Pedro); y el transporte foráneo que conecta con los municipios cercanos de Angostura, Mocorito, Salvador Alvarado, Badiraguato, Cosalá, Elota y San Ignacio del Estado de Sinaloa y Tamazula, del Estado de Durango) (IMPLAN Culiacán, 2018).

En cuanto a **infraestructura ciclista** en la ciudad, se cuenta con aproximadamente **16.4 km** de ciclovías, distribuidas en el Parque Las Riberas, Blvd. Agricultores, la Vía Escolar Lucha Villa, la Vía Escolar Sur, Puente Bimodal calle Morelos, Calzada Las Américas Norte, Calzada las Américas – Jardín Botánico, Calzada las Américas – Puente, Josefa Ortiz de Domínguez, Carlos Lineo, Puente Bimodal Zoológico y Carretera a Imala. Dicha infraestructura muestra deterioro provocado por el uso, el clima, así como daños causados por los usuarios. La más afectada por esta última causa es la ciclovía del Jardín Botánico (IMPLAN, 2018).

Los efectos del de la movilidad han sido percibidos en todos los ámbitos de la dinámica de la población y de la sociedad en general, convirtiéndose en uno de los principales retos que demanda atención inmediata. Sus efectos negativos están asociados con varios factores: el incremento exponencial del parque vehicular, la falta de una estructura vial adecuada acorde a las condiciones urbanas, la falta de un transporte eficiente y moderno que se constituya en una alternativa real y con esto desaliente la utilización de los vehículos privados, pero que al mismo tiempo atienda las necesidades de la población, la concentración de comercio y servicios, la falta de pavimentación en el 22% de las vialidades de la ciudad y la acelerada expansión urbana de las últimas décadas. (IMPLAN, 2018).

De acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023) en Culiacán el parque vehicular en circulación asciende a 641,253 vehículos de motor registrados, con un promedio aproximado de 607 vehículos por cada mil personas, indicador superior al promedio nacional de 449 vehículos por cada mil personas (tabla 8).

El incremento histórico del parque vehicular del municipio de Culiacán ha sido exponencial. Se tiene que en 1980, había una población de 560 mil habitantes y contaba con 44,080 vehículos, lo que equivalía a 79 vehículos por cada mil habitantes; para el 2000, este promedio incrementó considerablemente a 213 vehículos, estimándose que para 2023 existían 607 vehículos por cada mil habitantes; es decir, casi dos vehículos por familia (INEGI, 2023).

Tabla 8. Culiacán, Sinaloa. Vehículos de motor registrados en circulación, 1980 – 2023

Año de registro	Vehículos de motor registrados en circulación	Población total	Tasa de motorización (Vehículos x 1,000 habitantes)
1980	44,080	560,001	79
1990	82,805	601,123	138
1995	120,469	696,262	173
2000	158,647	745,537	213
2005	224,084	793,730	282
2010	343,230	858,638	400
2015	454,168	905,265	502
2020	530,496	1,003,530	529
2021	548,544	1,020,840	537
2022	542,172	1,038,450	522
2023	641,253	1,056,363	607

Fuente: INEGI (2023). Vehículos de motor registrados en circulación.

Por el exceso de parque vehicular hay vialidades muy saturadas por la mañana y medio día y parte de la noche, y con ello aumentan también los accidentes, las emisiones de GEI y consecuentemente las temperaturas y la contaminación atmosférica (Corral, 2023).

Box 4. Reflexión para profundizar el análisis sobre el incremento del parque vehicular

Reflexión para profundizar el análisis. El incremento del parque vehicular es una de las causas del agudizamiento del calor extremo, por lo tanto, un análisis relevante será conocer detalladamente el crecimiento del parque automotor en los últimos 20 años, y la estructura origen-destino de los viajes, de modo que brinde elementos técnicos sólidos para la construcción de soluciones a esta problemática. Estas deben orientarse a la reducción de las necesidades de movilidad, lo que requiere “acercar” los usos del suelo, los servicios y los equipamientos a los lugares donde están las viviendas, aprovechando los terrenos vacíos, entre otros instrumentos; igualmente, se debe invertir en la modernización del transporte público y de carga con electromovilidad y, finalmente, promover mejorando la infraestructura para la movilidad sustentable: banquetas y ciclovías.

2.1.4.3 Vivienda

Un elemento central en el confort climático urbano es la **vivienda** por ser el espacio de refugio de las personas con relación a las condiciones ambientales del sitio donde se ubican. La calidad de las viviendas con relación al clima se mide por su localización, por su orientación, por los materiales con los que está construida y por los servicios con que cuenta.

En el municipio, 98% de las paredes de las viviendas están construidas con materiales resistentes, destacando tabique y tabicón (sólo el 0.6% son de algún material precario); el 98% tienen pisos con firme de cemento y solo 2% de las casas tienen pisos de tierra. Las losas de las viviendas, en su mayoría, son de concreto armado (96.6%) y en 1% son de lámina o de algún material de desecho (INEGI, 2020).

Los materiales predominantes permiten un aislamiento parcial de las inclemencias climáticas; sin embargo, bajo condiciones de calor extremo resultan poco eficaces. Consecuentemente, los costos de construcción y/o adaptación de las viviendas considerando los factores anteriores, tienden a elevarse.

Existe una clara presión por la expansión hacia los terrenos ubicados en la periferia de la ciudad, en los que se han desarrollado la mayoría de los nuevos fraccionamientos, donde se ofrecen opciones de comercio de cobertura básica e incluso regional con la construcción de nuevas plazas comerciales; el problema que presenta esta estructura urbana es la falta de equipamientos públicos principalmente de recreación y deporte, lo que repercute en los problemas de movilidad que afectan cotidianamente la estructura vial de la ciudad al “alejar la vivienda de estos servicios vitales y cotidianos (IMPLAN, 2021).

Los servicios públicos (agua, drenaje y energía eléctrica) muestran una distribución central e intermedia que se resume en una buena cobertura excepto para las zonas marginales. Las viviendas de mayor nivel no presentan una clara periferización, excepto por La Primavera al sur de la ciudad; las viviendas de clase media alta y media se presentan en los alrededores del centro, mientras que las viviendas de Interés social, económicas y precarias, tienden a localizarse en las periferias, las del primer tipo hacia el norte y las de los dos últimos tipos más hacia el sur (IMPLAN, 2021).

Como se observa en la tabla 9, en las dos últimas décadas de 1990-2020, el número de viviendas ha crecido a un mayor ritmo que el número de habitantes. La población creció un 1.72 % anual mientras que la vivienda a un 3%. No obstante, este crecimiento superior al demográfico, estas proporciones significan una cierta desaceleración en el ritmo de construcción de viviendas en el periodo de la historia del país que más viviendas se han construido (2000-2018), lo que puede ser un indicador de la saturación de los segmentos del mercado -vivienda social- a los que se ha dirigido esa enorme producción (IMPLAN, 2021).

Se prevé que para el 2030, la población siga creciendo (un 10.7% más que en el año 2020) y lo hará junto con la construcción de viviendas (16.9% más que en 2020). Culiacán enfrenta el fenómeno de abandono, tanto de viviendas como de población, del centro de la ciudad y de las colonias con mayor antigüedad; igualmente, presenta una distribución homogénea de zonas en inicio de declinación, así como la expansión e incorporación de nuevos asentamientos, ubicados principalmente en la periferia de la mancha urbana (IMPLAN, 2021).

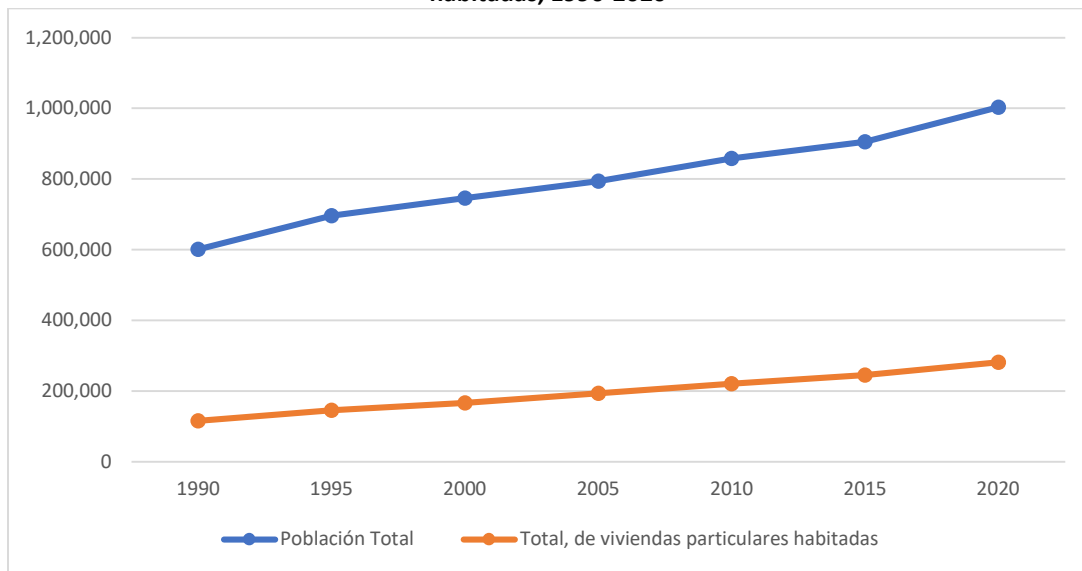
Con lo anterior, se deduce que el crecimiento poblacional generará una expansión continua del área urbana, que no necesariamente será sustentable, si se considera este fenómeno en las últimas décadas, con lo cual se podrán agudizar los problemas ambientales, particularmente el incremento de las temperaturas.

Tabla 9. Culiacán, Sinaloa. Viviendas habitadas y crecimiento poblacional, 1990-2020

Año	Población Total	Viviendas particulares habitadas*
1990	601,123	115,662
1995	696,262	145,762
2000	745,537	166,200
2005	793,730	193,559
2010	858,638	220,178
2015	905,265	244,754
2020	1,003,530	281,567

* Los ejercicios censales de 1990, 1995 y 2000 contienen información sobre viviendas particulares habitadas. De 2005 a 2020, la variable corresponde al total de viviendas particulares habitadas.
Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 1990, 2000, 2010 y 2020; Censo de Población y Vivienda, 1995 y 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

Gráfica 1. Culiacán, Sinaloa. Crecimiento poblacional con relación a las viviendas particulares habitadas, 1990-2020



Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 1990, 2000, 2010 y 2020; Censo de Población y Vivienda, 1995 y 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

Tabla 10. Culiacán, Sinaloa. Tasa de crecimiento poblacional y de las viviendas particulares habitadas, 2000-2020

Periodo	Tasa de crecimiento de las viviendas particulares habitadas	Tasa de crecimiento poblacional
2000 - 2005	3.0	1.2
2005 - 2010	2.6	1.5
2010 - 2015	2.1	1.0
2015 - 2020	2.8	2.0

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 1990, 2000, 2010 y 2020; Conteo de Población y Vivienda, 1995 y 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

2.1.4.4 Cambios de uso del suelo

La población de Culiacán en 2020 fue del orden de 1 millón de habitantes (48.9% hombres y 51.1% mujeres) y se estima con base en datos de CONAPO, que en 2030 crecerá en un poco más de 10% alcanzando una población de 1,150,557 habitantes.

De acuerdo con el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Culiacán, la ciudad ha crecido de manera muy dinámica; en 2007 ocupaba el 11% del centro de población (8,645.1 ha) y para 2017 prácticamente se duplicó cubriendo el 20% (15,475.6 ha), crecimiento equivalente a aproximadamente 6,830.5 has con un promedio de 683 has cada año (IMPLAN, 2021b).

La distribución espacial de la densidad habitacional tiende a decrecer del centro urbano hacia la periferia de la ciudad, situación que se agudiza por la gran cantidad de predios vacíos que se encuentran bajo especulación; igualmente, se observa una tendencia a la concentración de vivienda en la periferia urbana por la construcción de fraccionamientos, conjuntos habitacionales y residenciales e incluso por los asentamientos irregulares (Acosta-Rendón, 2019).

Desde la perspectiva ambiental, este patrón espacial ha tenido varias consecuencias, entre las que destacan la ocupación de áreas naturales que amortiguan el incremento de las temperaturas y la generación de islas de calor al desplazar zonas con árboles, pavimentando el territorio.

Al mismo tiempo, la lejanía de nuevos desarrollos habitacionales genera más viajes en vehículos públicos y privados, incrementando las emisiones de GEI y provocando el crecimiento del calor.

Box 5. Reflexión para profundizar el análisis físico territorial

Reflexión para profundizar el análisis. Es muy importante que el municipio mantenga actualizada la información de crecimiento del parque habitacional y su relación con la expansión física de la ciudad por la tendencia a la reducción de las densidades promedio por el patrón de crecimiento disperso. Toda esta información y sus consecuencias en la pérdida de biodiversidad y crecimiento o agudizamiento del calor extremo. El cuidado riguroso para la localización del crecimiento urbano solamente en suelo apto para la urbanización es una estrategia que permitirá reducir las afectaciones ambientales.

Otra consecuencia relevante desde la perspectiva ambiental de la expansión de la ciudad ha sido la disminución de las áreas de vegetación y de agricultura que se encontraban cercanas a la zona urbana. Las áreas agrícolas perdidas se localizan en el sector noroeste y sur de la ciudad. El crecimiento de la ciudad ha provocado desplazamiento de la agricultura y afectado las zonas de vegetación (IMPLAN, 2021).

La **clasificación de usos de suelo realizada con imágenes satelitales** muestra que los cambios de uso del suelo en Culiacán son un patrón constante en el municipio. En las últimas dos décadas, se ha mantenido la expansión de la zona urbana, siendo el uso urbano y las zonas de pastizal las que mayor ganancia de suelo registran en contraste con suelo agrícola y zonas forestales, principalmente.

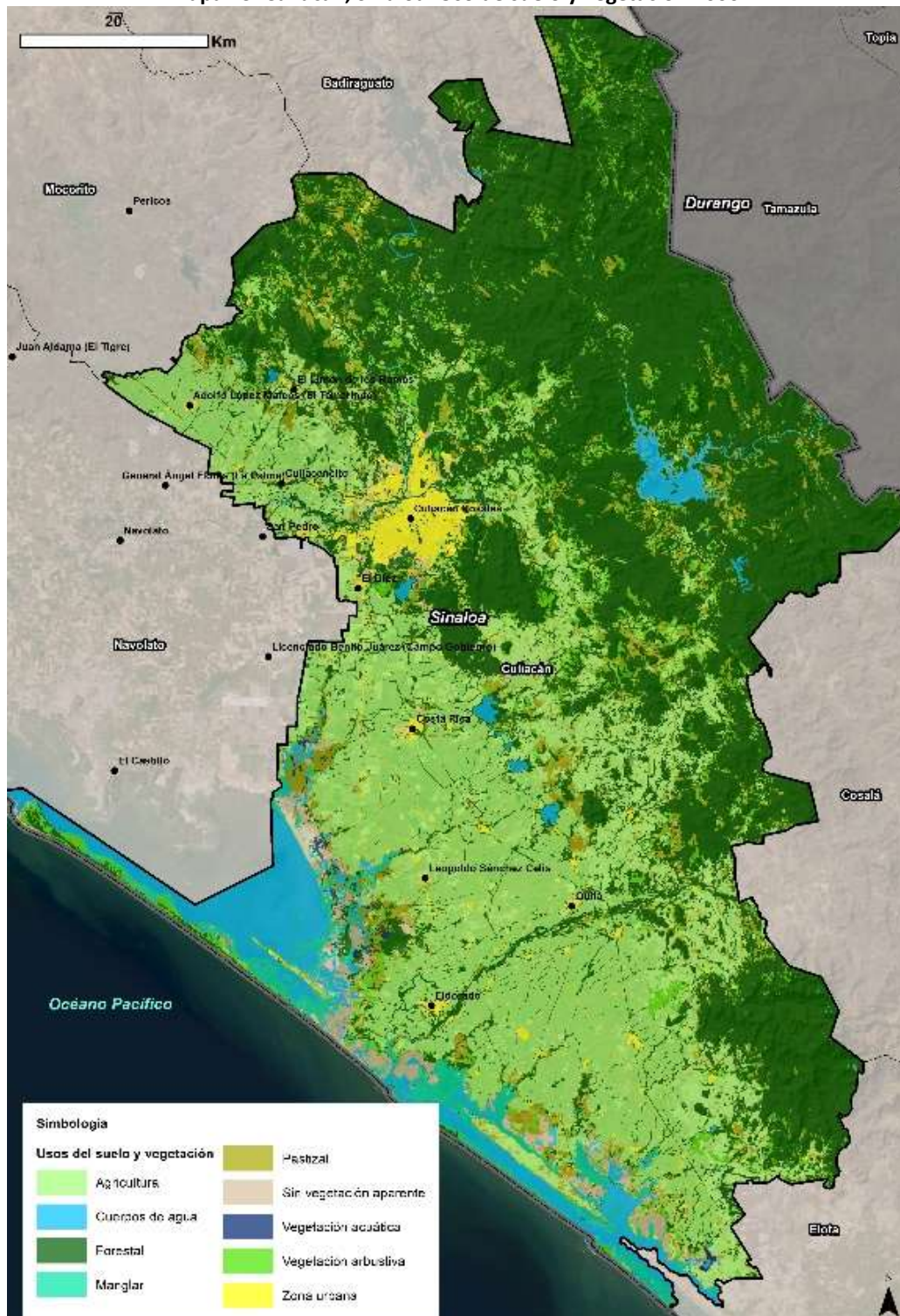
Tabla 11. Cambios de uso del suelo, 2000-2023.

Uso de suelo y vegetación	Superficie (Km2)		Pérdida (-) / Ganancia (+)	
	2000	2023	2000 - 2023	Anual
Agricultura	1,925.84	1,894.51	-31.34	-1.36
Agua	335.18	361.28	26.09	1.13
Forestal	2,932.84	2,788.48	-144.36	-6.28
Manglar	144.87	153.63	8.76	0.38
Pastizal	340.47	411.02	70.54	3.07
Sin vegetación aparente	144.55	114.53	-30.02	-1.31
Vegetación acuática	10.13	6.30	-3.83	-0.17
Vegetación arbustiva	327.91	375.23	47.32	2.06
Zona urbana	150.55	207.38	56.83	2.47
Total	6,312.35		-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 7 a 30 m/píxel del año 2000, y Sentinel 2 a 10 m/píxel del año 2023.

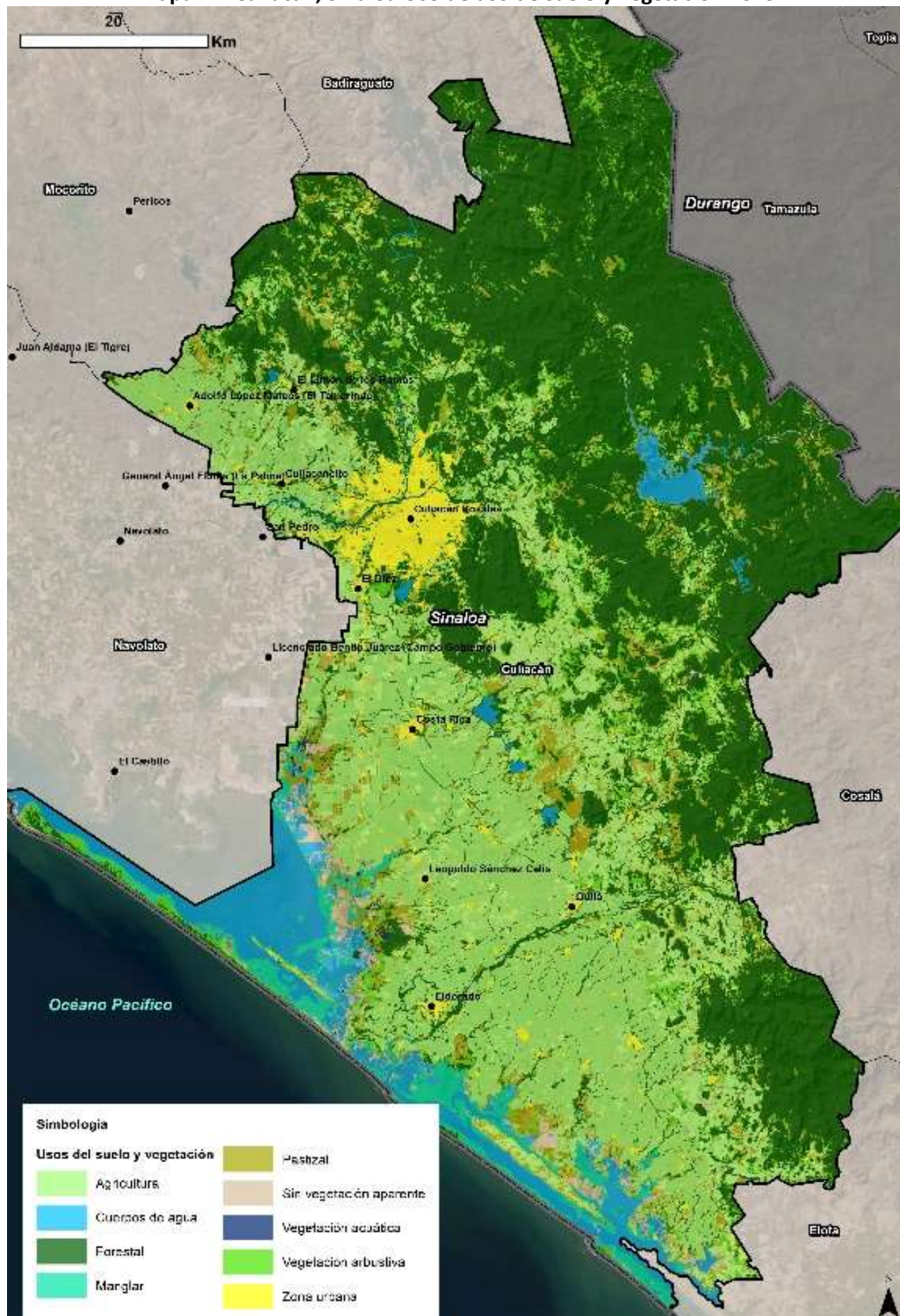
En los esquemas siguientes, es posible visualizar el crecimiento de la mancha agrícola sobre suelo forestal al norte y norponiente de Culiacán, existiendo un patrón de expansión discontinuo, disperso y desarticulado por el predominio de suelo agrícola, sin vegetación aparente o de pastizal vacante al interior.

Mapa 13. Culiacán, Sinaloa. Uso de suelo y vegetación 2000



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 7 a 30 m/píxel del año 2000.

Mapa 14. Culiacán, Sinaloa Uso de uso de suelo y vegetación 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel 2 a 10 m/píxel del año 2023.

La pérdida de suelo forestal ha sido la más significativa en Culiacán, en las últimas dos décadas hubo cambio de uso del suelo en 144.36 Km², que se traducen en una pérdida anual de 6.28 Km². La pérdida de superficie forestal conlleva una serie de repercusiones significativas, en este caso existe una transición hacia uso de suelo de pastizales y áreas agrícolas, esto puede suceder para el mantenimiento de animales de la especie bovina y porcina, donde Culiacán es un municipio que se dedica a la crianza de este tipo de animales, principalmente para la venta de carne fresca o refrigerada.

Cuando se pierden bosques, ya sea por la deforestación para la agricultura o la urbanización, se crea un vacío ecológico que a menudo es ocupado por pastizales y cultivos. Esta transformación impacta en la biodiversidad, ya que los bosques albergan una diversidad única de especies que pueden no adaptarse o encontrar hábitats adecuados en las zonas de pastizal o cultivo. Además, la pérdida de bosques puede contribuir al cambio climático, ya que los árboles son vitales para absorber dióxido de carbono, y su eliminación aumenta los niveles de este gas en la atmósfera.

Mapa 15. Culiacán, Sinaloa. Pérdida y ganancias de zonas forestales, 2000 – 2023.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 7 a 30 m/píxel del año 2000, y Sentinel 2 a 10 m/píxel del año 2023.

El crecimiento de zonas de pastizal y áreas agrícolas también afecta la calidad del suelo y los ciclos hidrológicos. Los pastizales pueden erosionar el suelo más fácilmente que los bosques, lo que puede llevar a la pérdida de nutrientes y la degradación de la tierra. Además, las áreas agrícolas a menudo requieren el uso intensivo de químicos y pueden contribuir a la contaminación del agua y la disminución de su calidad. Esta transición de bosques a pastizales y áreas de cultivo también puede tener un impacto socioeconómico al cambiar los medios de vida de las comunidades locales que dependen de los recursos forestales para su subsistencia.

Mapa 16. Culiacán, Sinaloa. Expansión de usos agrícolas y de pastizales, 2000 – 2023.

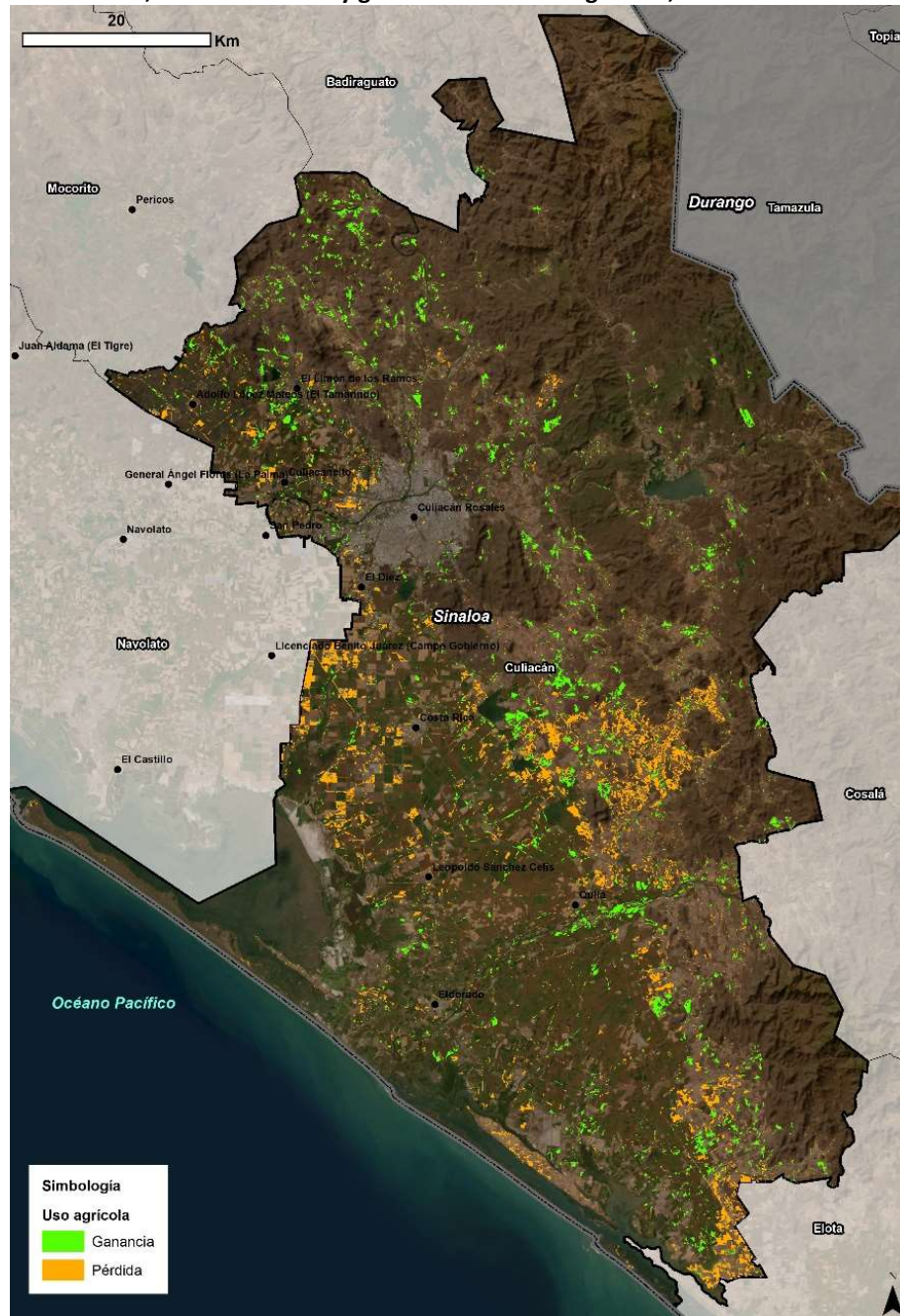


Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth del año 2000 y 2023.

Sin embargo, a pesar de que existe un incremento de zonas agrícolas aledañas a las zonas forestales, en general, en Culiacán la superficie agrícola es el segundo uso de suelo que más cambios presenta, esto por sus transiciones hacia pastizales, áreas sin vegetación aparente, vegetación arbustiva, y por supuesto hacia áreas urbanas.

La transición de superficies agrícolas a otro tipo de paisajes tiene una serie de consecuencias ambientales, sociales y económicas. Cuando las áreas agrícolas experimentan una transformación hacia zonas de pastizal, se observa un cambio en la biodiversidad y la productividad del suelo. Los pastizales, aunque pueden ofrecer cierto hábitat para ciertas especies, tienden a ser menos diversos en comparación con los ecosistemas agrícolas anteriores, lo que afecta la variedad de flora y fauna presentes. Además, esta transición puede impactar la retención de agua en el suelo, alterando los ciclos hidrológicos y la disponibilidad de agua para uso humano y agrícola.

Mapa 17. Culiacán, Sinaloa. Pérdida y ganancias de zonas agrícolas, 2000 – 2023.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 7 a 30 m/píxel del año 2000, y Sentinel 2 a 10 m/píxel del año 2023.

Las zonas sin vegetación aparente que surgen de áreas agrícolas, pueden ser el resultado de la sobreexplotación del suelo o la degradación ambiental. La ausencia de vegetación afecta la calidad del suelo, incrementa la erosión y disminuye la capacidad de retención de agua, lo que conlleva a un aumento en la desertificación y la pérdida de hábitats para diversas especies. Estas áreas desprovistas de vegetación también pueden experimentar cambios en la temperatura del suelo y del entorno, contribuyendo a microclimas locales más extremos.

La transición hacia zonas con vegetación arbustiva desde áreas agrícolas representa una fase intermedia en la regeneración del paisaje. A menudo, la vegetación arbustiva puede colonizar áreas abandonadas, contribuyendo a la restauración ecológica. Sin embargo, la presencia excesiva de arbustos puede competir con la regeneración de árboles y el retorno a ecosistemas más diversos, lo que limita la funcionalidad de los hábitats.

La transformación de superficies agrícolas a zonas urbanas es un fenómeno común en el desarrollo humano. A medida que las ciudades se expanden, absorben tierras agrícolas, transformando paisajes y desplazando ecosistemas naturales. Este cambio lleva a la pérdida de hábitats naturales, fragmentación del paisaje y, en muchos casos, a la destrucción irreversible de la biodiversidad local. Además, las áreas urbanas generan desafíos ambientales como la contaminación del aire, la gestión inadecuada de residuos y la alteración de los ciclos hidrológicos, impactando la calidad de vida de las comunidades y la sostenibilidad ambiental.

Mapa 18. Culiacán, Sinaloa. Expansión del uso urbano, 2000 – 2023.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth del año 2000 y 2023.

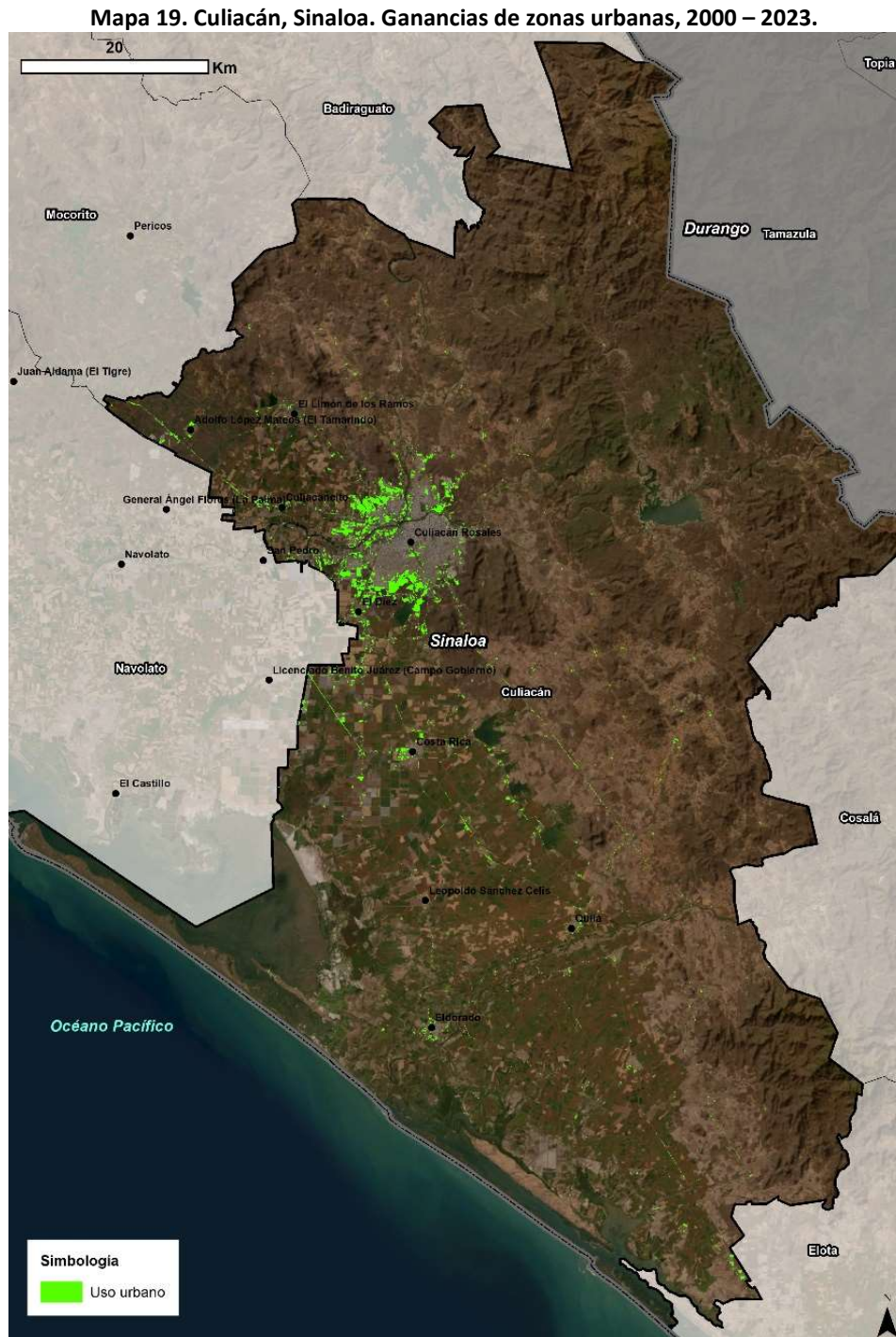
El uso urbano ha aumentado en 1.3 veces su tamaño respecto al año 2000. El crecimiento urbano en Culiacán, Sinaloa, ha sido notable y marcado durante las últimas dos décadas. Entre los años 2000 y 2023, se ha experimentado una Tasa Media Anual de Crecimiento del 1.4%, este desarrollo ha transformado el paisaje urbano, llevando consigo notables cambios en la distribución de los terrenos.

De acuerdo con los datos recopilados, se ha observado una marcada transición en la transformación del entorno. Entre las conversiones más notorias, se destaca que 23.41 km² de zonas previamente sin vegetación aparente han sido absorbidas por el crecimiento urbano. Esta expansión ha resultado en la disminución notable de áreas naturales desprovistas de vegetación, reemplazadas por infraestructuras urbanas y construcciones.

Asimismo, se evidencia que las zonas forestales han sido impactadas en un área de 17.74 km² debido al crecimiento urbano acelerado. Estos espacios, antes cubiertos por una rica vegetación y de gran importancia para el equilibrio ecológico local, han sido reducidos a medida que la urbanización ha avanzado.

Por último, se ha notado que aproximadamente 14.32 km² de zonas agrícolas han sido transformadas por el desarrollo urbano. Estas áreas, antes dedicadas a la producción de alimentos y cultivos, han cedido terreno a la expansión de la ciudad, lo que ha implicado un cambio significativo en la dinámica económica y agrícola de la región.

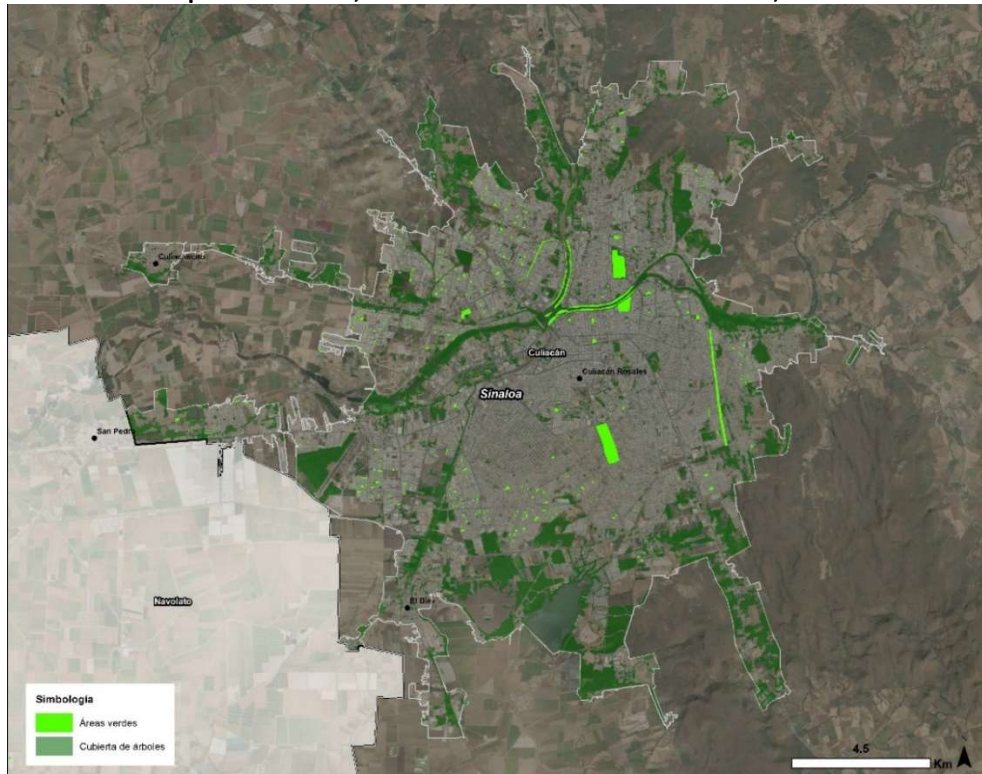
En resumen, el crecimiento urbano en Culiacán ha provocado la transformación de áreas antes dominadas por la falta de vegetación, zonas forestales y terrenos agrícolas, resaltando así la importancia de políticas de planificación urbana sostenible que busquen equilibrar el desarrollo urbano con la conservación de áreas naturales y el aprovechamiento responsable de la tierra.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 7 a 30 m/píxel del año 2000, y Sentinel 2 a 10 m/píxel del año 2023.

La ciudad de Culiacán cuenta con aproximadamente 2.19 m² de área verde por habitante (Mapa 20), es decir, 12.81 m² por debajo de parámetro internacional utilizado en el Índice de las Ciudades Prosperas estimado por ONU- Hábitat (2015). Para calcular este indicador se analizaron las áreas verdes, incluyendo aquellas dentro de los equipamientos como: parques, jardines, unidades deportivas, escuelas, instituciones públicas, entre otras (ONU-Habitat, 2015).

Mapa 20. Culiacán, Sinaloa. Distribución de áreas verdes, 2015



Fuente: Centro Eure a partir de Áreas Verdes y Parques de Culiacán, (2015).

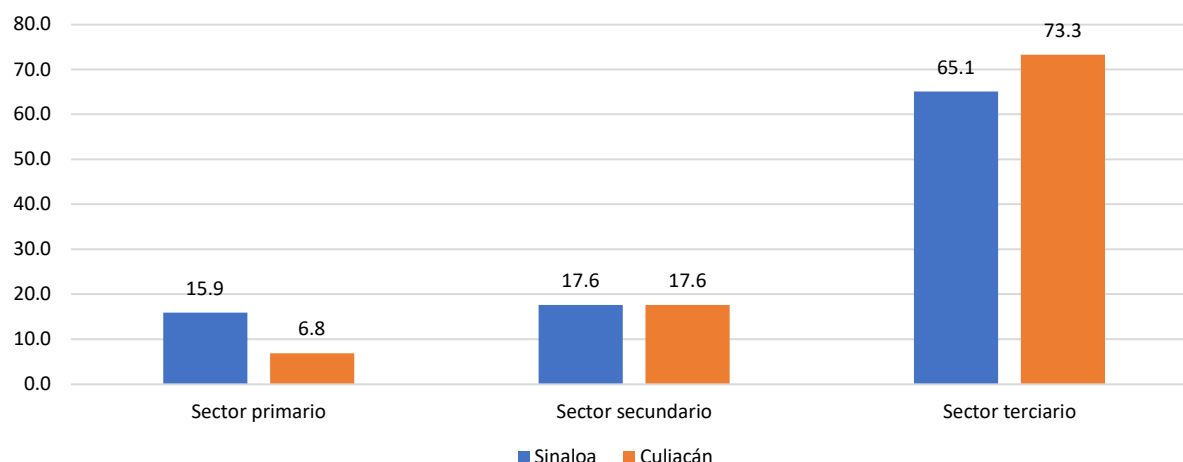
2.1.5. Caracterización económica

En 2020, el 62.8% de la población del municipio de Culiacán formaba parte de la Población Económicamente Activa (PEA), de ellos, 42.9% eran mujeres y 57.1% hombres. Además, aporta un tercio de la PEA estatal con una tasa de ocupación del 98.7% (INEGI, 2020). En la dinámica demográfica del municipio y su cambio en la estructura de edades, se observa que en los últimos veinte años se incrementó el porcentaje de PEA y una oportunidad de aprovechar el bono demográfico.

Los sectores de mayor dinámica e importancia en el municipio son el secundario y terciario, mientras que las actividades primarias se han reducido de manera paulatina. El sector secundario concentra a 17.6% de la PEA en actividades manufactureras, mientras que 73.3% de la PEA se ocupa en actividades relacionadas con el comercio y servicios. El sector primario ocupa a 6.8% de la población municipal cifra que se ha reducido de manera paulatina (INEGI, 2020) (gráfica 2).

En 2024, en la ciudad de Culiacán se concentraron 43,454 unidades económicas (34.7% del total estatal) que dan empleo a más de 178 mil personas (36.0% del total estatal) (INEGI, 2024). En términos porcentuales, el municipio participaba en 2019 con el 42% de la producción de la entidad y 40% del valor agregado de la entidad (INEGI, 2019). Salvo en productividad y generación de valor agregado, el municipio presenta una mejor situación que el estado, lo que da cuenta de su importancia económica.

Gráfica 2. Culiacán, Sinaloa. Distribución de la PEA Ocupada por sectores económicos, 2020



Nota: El sector primario incluye: Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza. El sector secundario se conforma por: Minería, industrias manufactureras, electricidad, agua y construcción. El sector terciario lo forma: Comercio, servicios de transporte, comunicación, profesionales, financieros, sociales, gobierno y otros.

Fuente: Centro Eure a partir de INEGI (2020a).

Por otra parte, el nivel de ingreso puede considerarse como el indicador más sensible en cuanto a las condiciones económicas de la población y por el vínculo tan estrecho que guarda con la calidad del empleo y las condiciones de vida de las familias.

El municipio de Culiacán concentra la oferta laboral de la entidad, sin embargo, predomina el empleo con baja remuneración económica. El 5.5% de las personas ocupadas reciben ingresos superiores a 5 salarios mínimos, el 13.9% de 3 a 5 salarios mínimos. Por el contrario, el 69% de la población ocupada percibe hasta tres salarios mínimos, en este se incluye a las personas que no perciben ingresos por trabajo (ENOE, 2020).

Box 6. Reflexión para profundizar el análisis económico

Reflexión para profundizar el análisis. Para poder estimar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del municipio, es indispensable contar con un inventario de las que generan los establecimientos más relevantes. Una forma de obtener esta información cercana a la realidad es el consumo de combustibles y electricidad en los diferentes sectores y establecimientos económicos a través de la factura de combustibles de Pemex y la de electricidad de la CFE, entre otras fuentes; esto permite elaborar un diagnóstico de la magnitud de las emisiones, su composición y sus impactos en el ambiente y, en particular, en el incremento de las temperaturas. Con esta información, es posible impulsar acciones costo efectivas que mitiguen las emisiones, sin dejar de impulsar el desarrollo económico del municipio.

En cuanto a las actividades primarias, el municipio enfrenta un fenómeno de sequía y debido a su mayor recurrencia y severidad, requiere de la atención gubernamental porque afecta directamente la producción agrícola, a la vez que acentúa los problemas ecológicos de agua y de incremento de las temperaturas. Las precipitaciones varían a lo largo del tiempo, por lo que la disponibilidad del agua no es constante. Las fuentes superficiales y subterráneas se abastecen por las lluvias, por lo que la sequía impacta de manera directa la cantidad de agua de estas fuentes, además de las variaciones de los ciclos pluviométricos y de las características geológicas, geográficas y ecológicas de la región donde se localiza Culiacán.

Además de la sequía, la actividad humana influye sobre este ciclo del agua, ya que las actividades económicas (principalmente las agropecuarias) hacen uso de las fuentes de agua, reduciendo su disponibilidad. Además, estas actividades pueden alterar el medio ambiente, por ejemplo, a través de la deforestación que afecta al reabastecimiento del agua subterránea.

La disminución en la disponibilidad de agua afecta a las actividades económicas del municipio, provocando un círculo vicioso que asocia a la sequía, con la reducción de la biodiversidad, lo que provoca menor captación de agua de lluvia y por ello, menor acumulación de agua en los acuíferos, todo lo cual termina afectando la economía y la calidad de vida de las personas. Como lo registra el Programa de Acción Climática Municipal del Municipio de Culiacán (2016), la agricultura se ve afectada por las ondas de calor

“Lluvias intensas y altas temperaturas causan pérdidas en los cultivos, la sequía reduce la superficie de siembra, aumenta la mortandad de ganado y disminuye la calidad de la carne” [...] turismo: “afecta la funcionalidad del sector, al disminuir la actividad y presencia de viajeros” [...] la salud pública: “Las altas temperaturas provocan un aumento de personas deshidratadas por el desabasto de agua” [...] la industria y energía [...] “Ocurriría una pérdida de servicios básicos por vientos intensos, afectaciones a la productividad por ausencia de personal e indiscutiblemente daños a la infraestructura en general, así como a la Infraestructura urbana, ya que: “Se reduciría el abasto de agua durante las sequías”, entre otros sectores, como la Biodiversidad”.

Box 7. Reflexiones sobre el impacto del calor extremo

Reflexiones sobre el impacto del calor extremo.

El alineamiento del conocimiento del ecosistema con el entendimiento del sistema urbano brinda información valiosa, porque permite asociar el fenómeno de la urbanización con el consumo y los impactos que resiente el ambiente, como es el caso de la construcción de la infraestructura para la movilidad motorizada y no motorizada; la selección y aplicación de los materiales usados para pavimentar calles y los usados en viviendas y otras edificaciones. La consideración de prácticas urbanas sostenibles, como pavimentos reflectantes y áreas verdes integradas en el diseño urbano, puede ser fundamental para atenuar el impacto del calor extremo y mejorar la calidad de vida de los residentes.

Tener claro el significado ambiental y climático de cada uno de estos, nos ofrece orientaciones para definir estrategias más adecuadas que puedan disminuir los efectos del calor extremo a nivel local.

Igualmente, alinear la identificación y análisis de las áreas protegidas, los bosques urbanos y el área verde por habitante, por su impacto positivo en la mitigación de las consecuencias del calor extremo, entre otras ventajas, permite visualizar otras soluciones en el proceso de urbanización que permitan incrementar de manera importante el reverdecimiento y forestación de la ciudad, promoviendo espacios

que capturen el calor y permitan el mejoramiento de los microclimas en el área urbana. La creación de más áreas verdes no solo tiene beneficios ambientales, como la captura de calor y la mejora de los microclimas urbanos, sino que también contribuye al bienestar general de la población al proporcionar entornos más frescos y saludables. En conjunto, la infraestructura urbana y la preservación de áreas verdes son elementos clave para el diseño de estrategias locales que aborden los desafíos del calor extremo en Culiacán.

La información y análisis, desde la perspectiva ambiental y climática, de la economía de Culiacán y de las actividades principales que realiza la población, dan indicios de los procesos que generan los incrementos en las temperaturas; en consecuencia, asociar las decisiones sobre actividades económicas, como nuevas inversiones, ampliaciones de instalaciones o nuevas edificaciones, a sus impactos ambientales previstos, permitirá cambiar las estrategias que tradicionalmente se aplican para enfrentar el fenómeno de calor extremo, por otras, que tengan el objetivo explícito de mitigar, reducir y prevenir los efectos de las temperaturas extremas.

2.2 Análisis de Calor Extremo

De acuerdo con *National Integrated Heat Health Information Service* (NIHHIS, 2017), el calor extremo se puede entender como eventos individuales de altas temperaturas en los que éstas se aproximan, igualan o superan los récords extremos experimentados anteriormente, o bien, como **episodios de ola de calor** que ocurren durante **dos o más días consecutivos**.

Para el **análisis de calor extremo** se tomó como referencia el modelo que se utiliza en el artículo “Análisis de calor extremo en el estado de Veracruz y sus aplicaciones”, el cual se basa en el método de **Categorización de Umbral y utiliza el Cálculo de Percentiles**. Con esta metodología se obtuvieron los percentiles 90, 95 y 99 para el presente estudio. Con el objetivo de visibilizar la situación en el municipio, se presentan resultados del percentil 90, donde se muestra la distribución de calor extremo en Culiacán, observando que su zona norte presenta temperaturas por encima de 40.5°C, mientras que en la zona urbana las temperaturas máximas en el 10% de los días fueron de 39.6 °C.

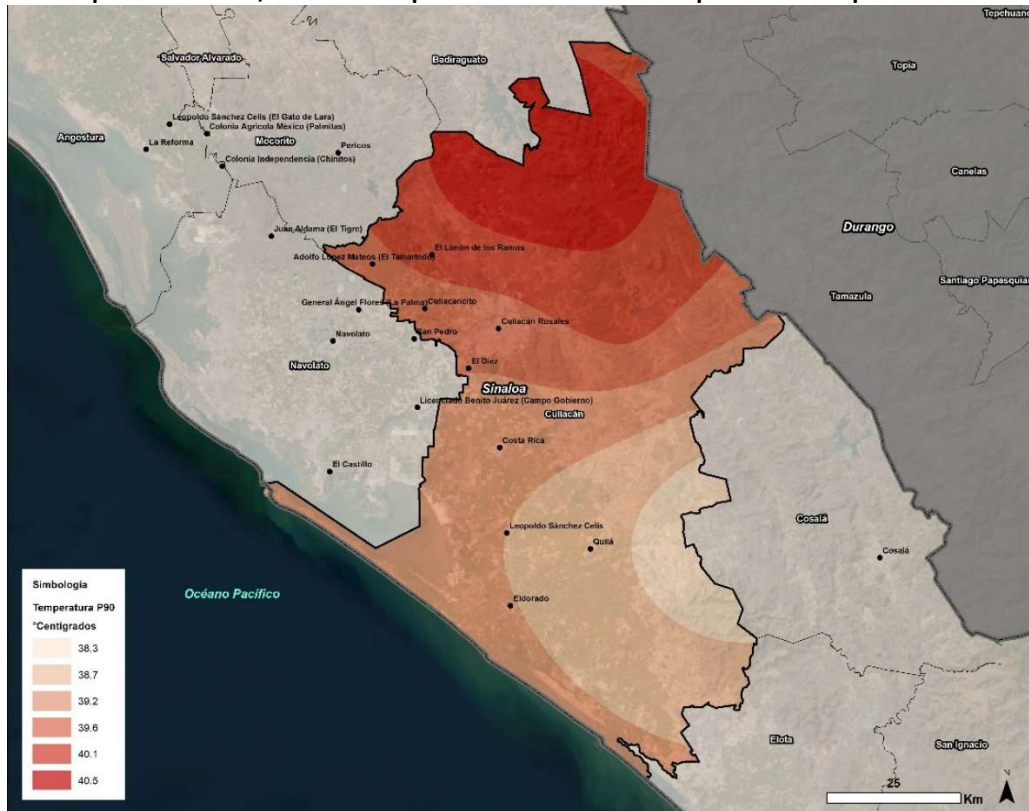
Asimismo, se obtuvo el promedio para el percentil 90 por mes, donde se observa que el mes con las temperaturas máximas ha sido junio, superando los 40°C, y diciembre con temperaturas máximas de 31.7°C.

Se calculó la frecuencia de casos de calor extremo para cada una de las estaciones; para que esta definición se pudiese cumplir, se consideraron el número de días consecutivos (2, 3, 4, 5 y 6+) (Ver el detalle metodológico en el anexo 1). Se observó que existe una gran cantidad de días en los que los eventos de calor no son solo de un día, **sino que llegan a durar hasta una semana, lo que provoca daños a la salud, mortalidad, pérdida de biodiversidad, pérdida de cultivos, entre otras consecuencias.**

Por otra parte, se observa que, al proponer una regresión lineal de los datos, las 2 estaciones muestran una elevación de las temperaturas máximas de 1.1°C durante el periodo de 30 años de estudio, pasando de 32.9°C y 33.5°C a 34.1°C y 34.6°C respectivamente.

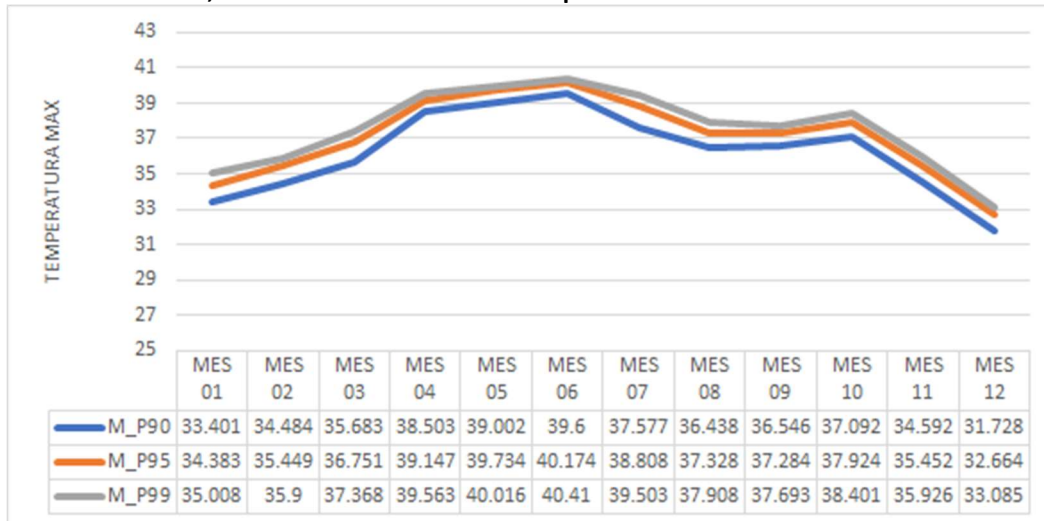
Este incremento también debe considerar que los valores para determinar el calor extremo se han ido incrementando a lo largo de los años, y que los rangos de ondas de calor extremo actuales son mayores que las de hace 30 años; por lo que se deberá tener precaución si estos valores se siguen incrementando en los próximos años.

Mapa 21. Culiacán, Sinaloa. Temperaturas máximas correspondientes al percentil 90



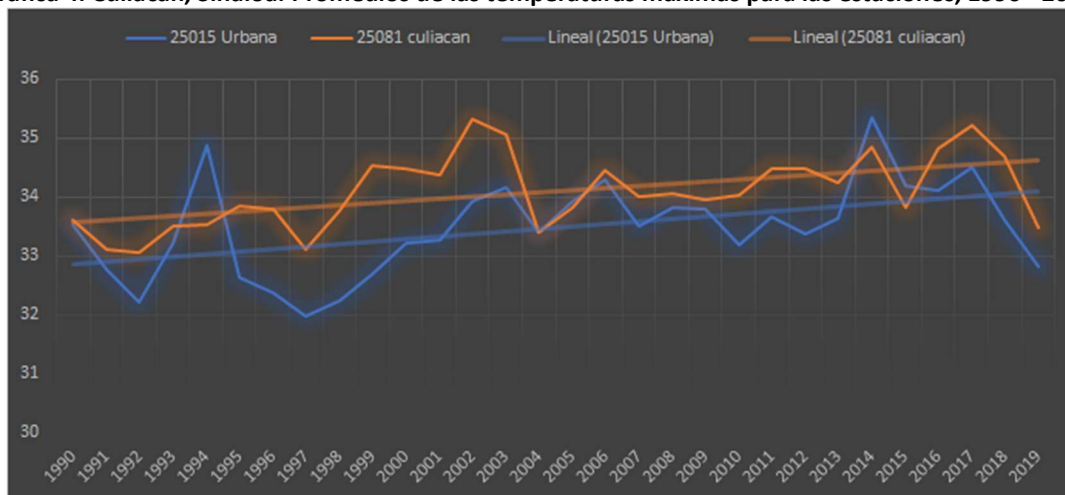
Fuente: Centro Eure a partir de Estadística Climatológica del Servicio Meteorológico Nacional.

Gráfica 3. Culiacán, Sinaloa. Promedio mensual de percentiles de las 6 estaciones de monitoreo



Fuente: Centro Eure a partir de Estadística Climatológica del Servicio Meteorológico Nacional.

Gráfica 4. Culiacán, Sinaloa. Promedios de las temperaturas máximas para las estaciones, 1990 - 2019



Fuente: Centro Eure a partir de Estadística Climatológica del Servicio Meteorológico Nacional.

Box 8. Reflexiones para seguir el análisis

Reflexiones para seguir el análisis. Es de suma importancia generar información sistemática como la aquí presentada, debido a que ofrece herramientas para los tomadores de decisiones y para la población en general para generar medidas y acciones que coadyuven en el cuidado de la salud de la población, así como de los recursos naturales y económicos del territorio.

Con la información presentada se muestra como las temperaturas a nivel local se han ido incrementando y al seguir la tendencia actual en cuanto a consumo de recursos y pérdida de biodiversidad, estas elevaciones de temperatura también continuarán y pondrán en riesgo el equilibrio ecológico de la región.

En los la siguiente ilustración s, **se ha observado el incremento de las temperaturas máximas en la zona más urbanizada de Culiacán, alcanzando temperaturas de 40.6°; por lo que es de suma importancia generar acciones que mitiguen el efecto de isla de calor en las zonas urbanas como son: incrementar las zonas con cubierta vegetal nativa, reducir la tala de árboles, acciones de eficiencia energética como techos reflectantes, aprovechamiento de la incidencia solar a través**

de paneles y calentadores solares, reducir la contaminación atmosférica por vehículos, residuos sólidos y otras fuentes, cuidar los cuerpos de agua del municipio; etc.

La tendencia al alza de las temperaturas locales, como se evidencia en la información presentada, plantea desafíos significativos para la ecología y la sostenibilidad en el municipio de Culiacán. Este aumento de temperatura, impulsado por el actual patrón de consumo de recursos y la pérdida de biodiversidad, amenaza con perturbar el equilibrio ecológico de la región. Para abordar estos riesgos, es imperativo ejecutar medidas de mitigación que contrarresten los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la formación de islas de calor en las áreas urbanizadas.

Se ha observado un incremento notable de las temperaturas máximas en las zonas más urbanizadas de Culiacán, alcanzando niveles alarmantes de hasta 40.6°C. En respuesta a este fenómeno, las medidas no solo buscan mitigar el efecto de islas de calor y contrarrestar el aumento térmico local, sino también, fomentar un entorno más sostenible y resiliente para la comunidad de Culiacán.

III. Análisis de vulnerabilidad y riesgos asociados al clima

La vulnerabilidad es la propensión o predisposición a ser afectado negativamente; comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación” (IPCC, 2018: 92). Aunque la Ley General de Cambio Climático (LGCC), en su artículo 3°, indica que es el:

Nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad, y su capacidad de adaptación (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012: 5).

67

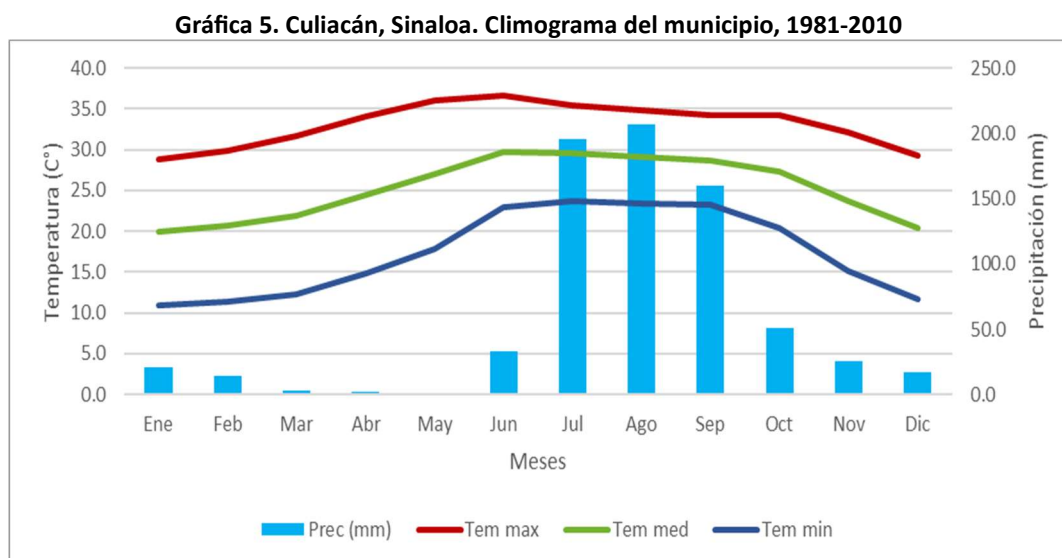
El análisis de vulnerabilidad a los efectos del cambio climático fortalece la información presentada en la caracterización y aporta otros elementos al entendimiento integral del fenómeno en la ciudad de Culiacán y su municipio.

3.1 Identificación de los peligros y riesgos climáticos

La identificación de peligros climáticos está basada en el uso de datos climatológicos y registros históricos. Para los fines de este análisis, se considerarán dos parámetros básicos: la temperatura y las precipitaciones.

Para realizar el análisis climatológico del municipio de Culiacán, se partió de los promedios mensuales de precipitación y temperatura de las estaciones climatológicas Culiacán (DGE), Sinaloa II y Vinoramas, en el periodo de 1981-2010. Los climogramas proporcionan una representación visual clara de las fluctuaciones en las temperaturas a lo largo del año. Es crucial reconocer estas variaciones estacionales para comprender plenamente los patrones climáticos locales y formular estrategias de adaptación efectivas.

Se puede observar la evolución de las temperaturas mínimas y máximas en el municipio; la temperatura mínima es de 3.09°C en el mes de enero y la máxima de 36.6°C, específicamente para el mes de junio (*Gráfica 5*).



Fuente: Centro Eura a partir del Sistema Meteorológico Nacional.

Los meses de julio, agosto y septiembre son históricamente el periodo con mayor lluvia, en el que el mes de agosto, alcanza una precipitación promedio de 207.3 mm; el resto del año predomina el clima cálido semiárido. La característica más distintiva en el clima de la región es la variación en altitud entre la costa y la Sierra Madre Occidental.

Esta variación altitudinal es la principal responsable de la existencia de este clima. Este patrón plantea desafíos específicos en términos de gestión del agua y preparación para eventos climáticos extremos.

68

Aunado a esto, la circulación atmosférica, en particular los vientos que provienen del este llevan el aire cálido y húmedo desde el Golfo de México y el Mar Caribe hacia la región de Culiacán. Esta corriente de aire, al encontrarse con las montañas de la Sierra Madre Occidental, asciende y se enfría, lo que propicia la condensación de la humedad y a la formación de precipitación en mayor medida, en el periodo del año mencionado (*Gráfica 8*) (IMPLAN, 2021a).

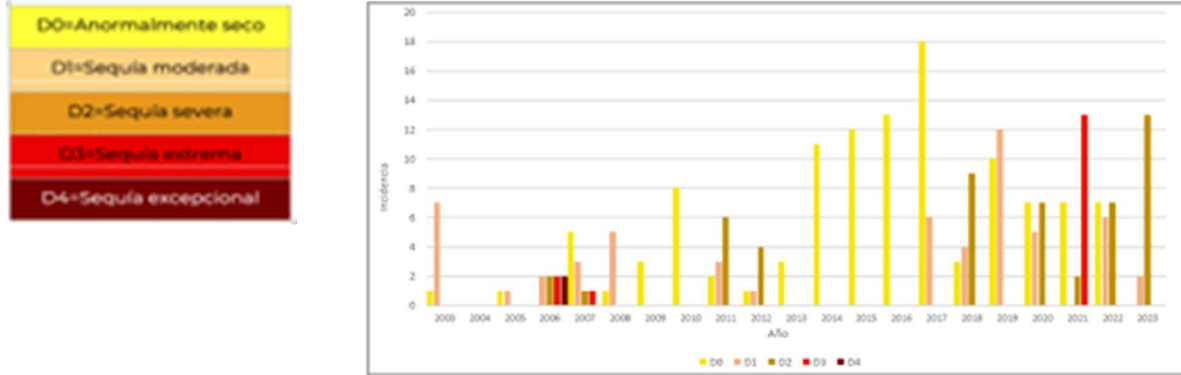
La predominancia del clima cálido semiárido durante la mayor parte del año subraya la necesidad de estrategias de conservación del agua y adaptación al cambio climático que sean sensibles a la variabilidad climática en la región. Este análisis detallado proporciona una base sólida para la planificación y formulación de políticas que aborden los desafíos climáticos específicos que enfrenta Culiacán.

Otro peligro climático relacionado a la variación de temperatura y poca precipitación en la zona el resto del año es la **sequía**, la cual es definida como periodos de tiempo en los que se da un déficit en la disponibilidad de agua.

Desde 2003 hasta lo que va del año 2023, se aprecia que, a excepción de 2004, todos los años han presentado algún tipo de sequía en Culiacán; es decir, se mantiene una constante en el municipio por año, sobre anormalmente seco y una sequía moderada con presencia de periodos de sequía severa. En los últimos años, a partir del 2018, la incidencia de sequía severa va en aumento.

En 2021, se presentó una alta incidencia de sequía extrema para la región, dicha condición afecta la agricultura y aumenta la probabilidad de incendios.

Gráfica 6. Culiacán, Sinaloa. Incidencia de sequía en el Municipio, 2003-2023

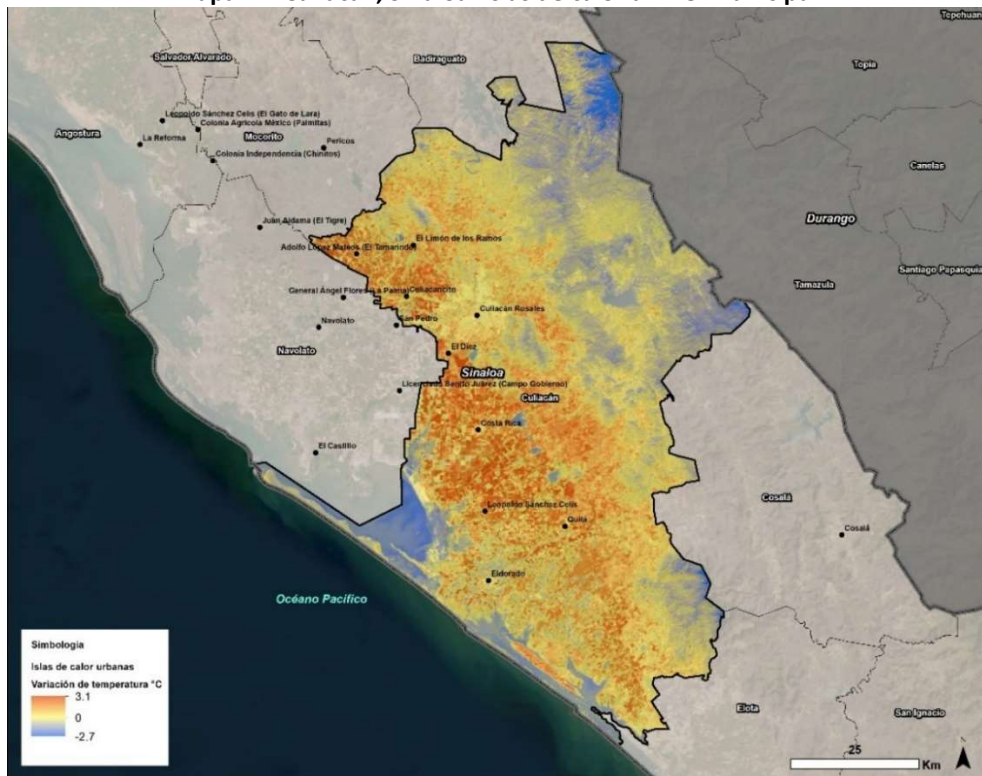


Fuente: Elaborado por Centro Eure a partir de Conagua (2023).

Las temperaturas altas se concentran en la zona más urbanizada (el centro del municipio, ubicado en la franja que atraviesa la llanura costera y Deltas de Sonora y Sinaloa). Dicha provincia se ve afectada por el fenómeno de islas de calor urbana, ya que ahí es más común el cambio de uso de suelo, déficit de vegetación y de áreas verdes, construcciones con materiales inadecuados, industrias, emisiones de GEI, vialidades, obras y densidad poblacional alta; todo lo anterior también representa un foco de calor, resultado del efecto invernadero que las emisiones generan (*Mapa 22 y 23*).

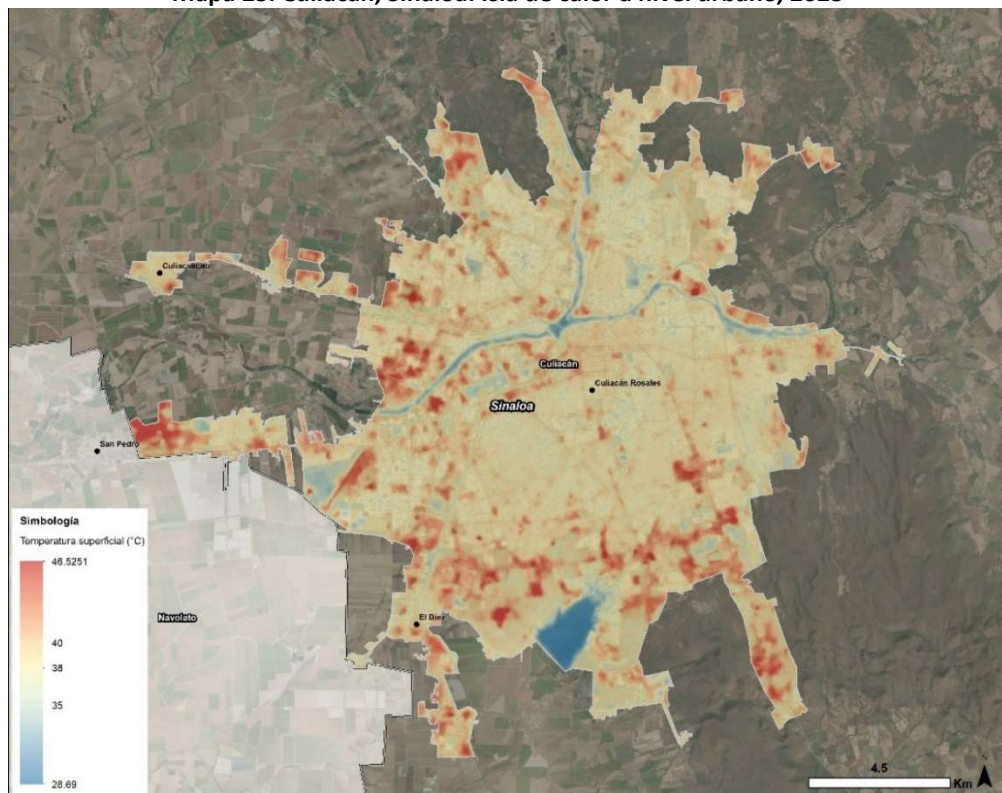
La Isla de Calor Urbana (ICU) es un fenómeno que se refiere al aumento de la temperatura en áreas urbanas en comparación con las áreas circundantes debido a la actividad humana y la concentración de edificios, carreteras y otras infraestructuras. Culiacán, como muchas otras ciudades en el mundo, también experimenta este fenómeno (*Mapa 23*).

Mapa 22. Culiacán, Sinaloa. Islas de calor a nivel municipal



Fuente: Centro Eure a partir de imágenes de satélite Landsat 8 con una definición de 15m/píxel (2018).

Mapa 23. Culiacán, Sinaloa. Isla de calor a nivel urbano, 2023

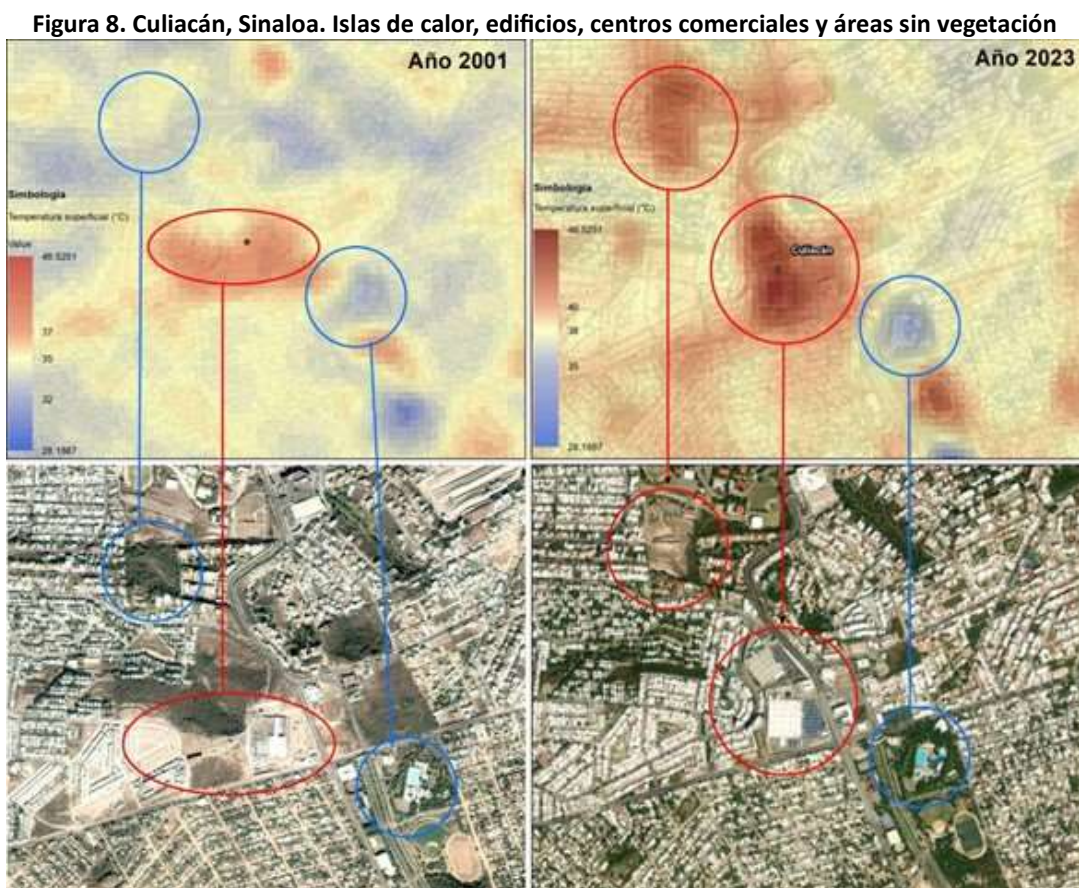


Fuente: Centro Eure a partir de imágenes de satélite Landsat 8 con una definición de 15m/píxel (2023).

El cambio de uso de un terreno o edificio para vivienda en Culiacán no necesariamente genera directamente una Isla de Calor Urbano (ICU), pero puede contribuir a su formación o agravamiento si no se realiza de manera planificada y sostenible. Las ICUs son fenómenos complejos que involucran múltiples factores, y el cambio de uso del suelo es uno de ellos.

La isla de calor urbana en la ciudad de Culiacán se debe a la pérdida de área natural, al cambio de uso para crear una gran cantidad de edificios (centros comerciales, conjuntos urbanos, etc.) que absorben y retienen el calor durante el día, estos edificios están contruidos con materiales que tienen una alta capacidad de absorción de calor solar.

En la figura 2, se aprecia la variación de temperatura entre el año 2001 y 2023 de áreas urbanizadas y áreas en proceso de edificación (suelo desnudo), en comparación con zonas arboladas; la edificación ha incrementado la temperatura entre 1 y 2 °C.



Fuente: Centro Eure a partir de imágenes de satélite Landsat 5 y 8 con una definición de 30m/píxel del año 2001 y 2023 e imágenes de Google Earth.

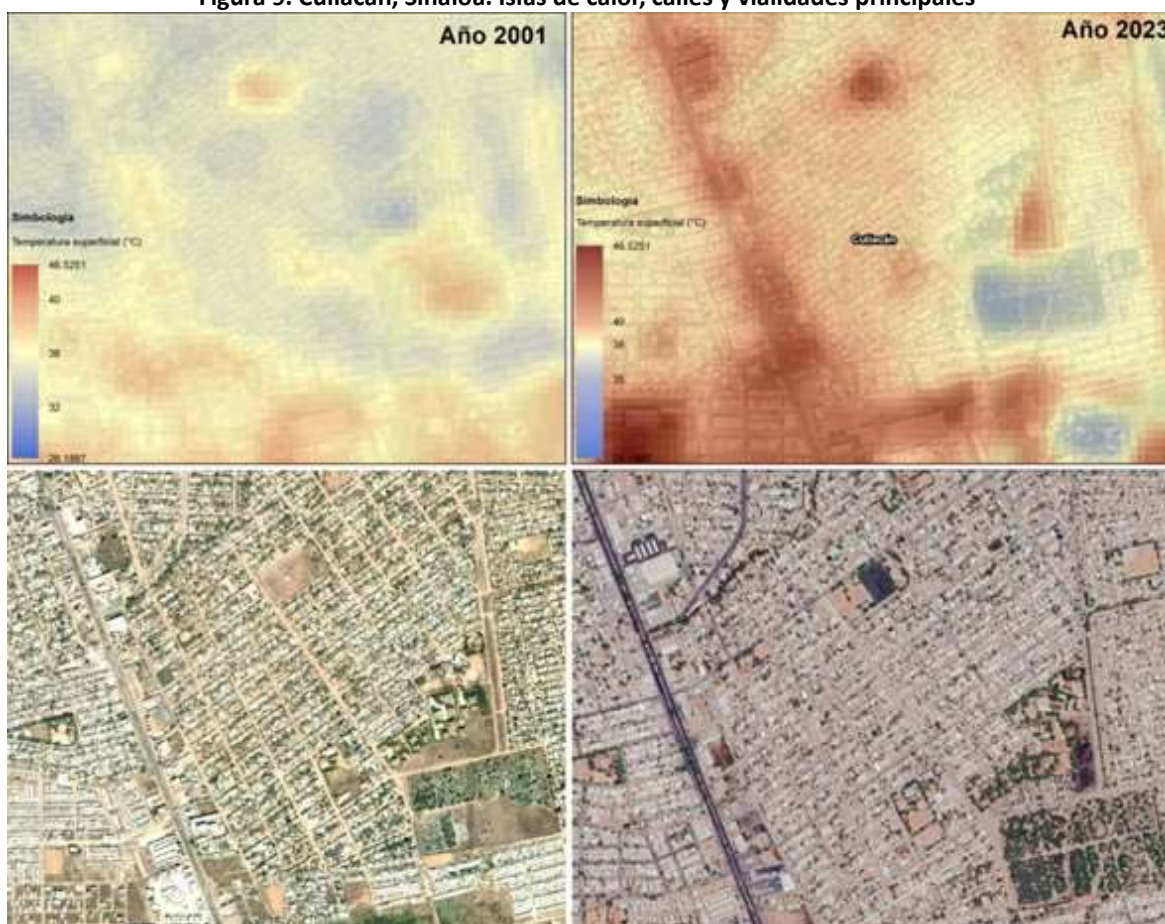
Las calles y carreteras urbanas contribuyen a la formación de Islas de Calor Urbano (ICU) debido a varias razones: porque están pavimentadas con materiales como asfalto y concreto que tienen una alta capacidad de absorción de rayos solares y retención de calor, lo que significa que liberan lentamente el calor acumulado durante el día incluso después de que el sol se haya puesto.

Esto contribuye a mantener las temperaturas elevadas durante la noche, creando un efecto de isla de calor nocturna.

Otro de los factores es la carencia de vegetación y sombra, lo que significa que no proporcionan una protección natural contra la radiación solar directa. La falta de sombra permite que el calor se acumule en estas áreas.

El tráfico vehicular es una fuente importante de calor en las áreas urbanas. Los motores de combustión interna de los vehículos emiten calor y gases de escape que contribuyen al calentamiento del aire en la ciudad y agudizan la contaminación de la atmósfera (Figura 9).

Figura 9. Culiacán, Sinaloa. Islas de calor, calles y vialidades principales



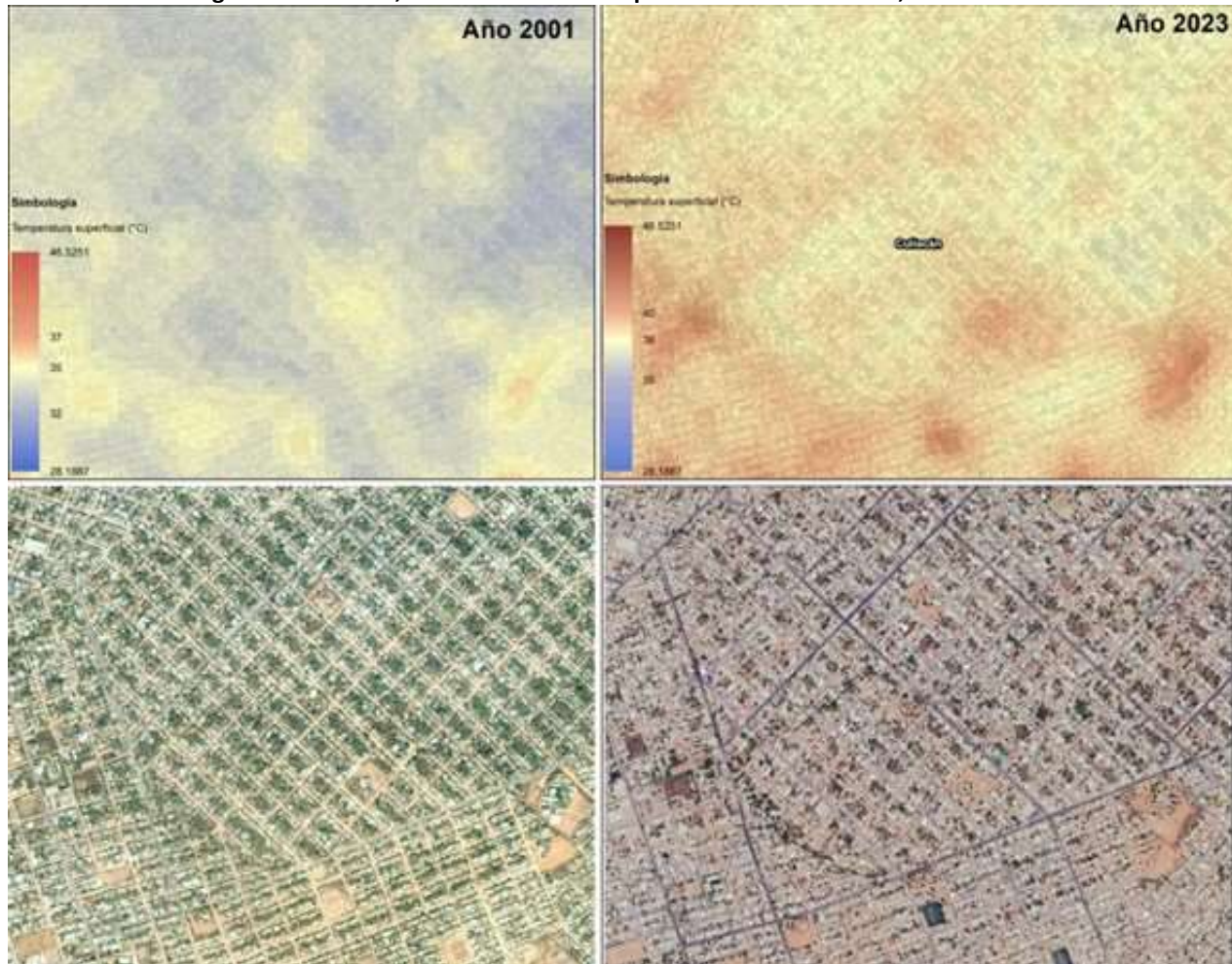
Fuente: Centro Eure a partir de imágenes de satélite Landsat 5 y 8 con una definición de 30m/píxel del año 2001 y 2023 e imágenes de Google Earth.

La disminución de la densidad arbórea, es decir, la cantidad de árboles en áreas urbanas es una de las causas principales de la formación de Islas de Calor Urbano (ICU). La falta de vegetación ha presentado un impacto significativo en el aumento de las temperaturas en la ciudad de Culiacán.

La vegetación, en particular las áreas verdes y las copas de los árboles, reflejan parte de la radiación solar incidente. Cuando la vegetación se reduce, más radiación solar se absorbe en lugar de reflejar, lo que aumenta las temperaturas.

En la figura 10 se muestra que en 2001 la densidad arbórea era mayor en comparación a la densidad de 2023. Es decir que la temperatura superficial en 2001 era menor a 35 °C para el mes de junio (mes más caluroso del año) en zonas con mayor presencia de arbolado; la pérdida de zonas arboladas debido al desarrollo de más vivienda y otras edificaciones, ha traído consigo el aumento de temperatura a 38 - 39 °C.

Figura 10. Culiacán, Sinaloa. Isla de calor por disminución arbórea, 2001 a 2023



Fuente: Centro Eure a partir de imágenes de satélite Landsat 5 y 8 con una definición de 30m/píxel del año 2001 y 2023 e imágenes de Google Earth.

La tala de árboles para construir todo tipo de edificios e instalaciones es una actividad que a menudo implica la ruptura del equilibrio entre las necesidades de desarrollo urbano y la conservación del medio ambiente.

Es importante llevar a cabo esta práctica de manera responsable y considerar alternativas que preserven los árboles y su importancia en el ecosistema urbano y natural; el nivel crítico al que se ha llegado exige que desde la legislación y la normatividad urbana el respeto a los árboles existentes y el incremento de la masa arbórea urbana sean políticas de la más alta prioridad en ciudades como Culiacán. Estas medidas pueden ayudar a reducir la contribución de los edificios, conjuntos habitacionales e industria a las Islas de Calor Urbano y mejorar la calidad del entorno urbano.

Box 9. Reflexión para profundizar el análisis sobre áreas específicas del municipio

Reflexión para profundizar el análisis. Sera importante generar información sobre cuáles son las áreas específicas del municipio con mayores niveles de vulnerabilidad a los efectos del calor extremo. Así como identificar sus causas (zonas más deforestadas, con menor porcentaje de áreas verdes, más propensas a sequías o inundaciones, con mayor actividad industrial, con infraestructura o materiales de construcción menos aptos para resistir el calor extremo, etc.). Con esta información la ciudad podrá contar con un Atlas de Vulnerabilidad al Calor Extremo que incluya el análisis de las causas concretas que lo provocan y agudizan como base para tomar decisiones oportunas que reduzcan dicha vulnerabilidad y riesgos en la población.

Perdida forestal. Mediante un algoritmo desarrollado por Matt Hansen, un científico de teleobservación de la Universidad de Maryland, se determinaron cambios en la cobertura forestal de Culiacán en el periodo del año 2015 al 2020. Este análisis reveló una preocupante disparidad entre la ganancia y la pérdida de áreas forestales. Entre 2015 y 2020, solo se ganaron 3.82 km² de cobertura forestal, mientras que lamentablemente se perdieron 72.76 km² en el mismo periodo. Esta disparidad es alarmante y conlleva implicaciones significativas.

Consecuencias de perdida de la cobertura forestal. La disminución de la cobertura forestal exagera el fenómeno de las islas de calor urbanas que se generan por la absorción de calor en las superficies construidas como el asfalto y el concreto, que luego son liberadas lentamente, elevando la temperatura en áreas urbanizadas. La pérdida de áreas verdes, como los bosques, reduce la capacidad de absorber el calor y aumenta la temperatura local.

Las áreas urbanas con menos vegetación tienden a experimentar temperaturas más altas debido a la falta de sombra y a la capacidad reducida de las superficies urbanas para absorber y retener agua. Los árboles y las áreas verdes juegan un papel crucial en la regulación térmica al proporcionar sombra, reducir la temperatura del aire a través de la evaporación y absorber dióxido de carbono.

La pérdida de cobertura forestal no solo afecta la temperatura local, sino que también puede alterar los patrones de precipitación. Los bosques desempeñan un papel importante en el ciclo hidrológico al influir en la evaporación, la transpiración y la condensación del agua. La disminución de áreas forestales puede resultar en cambios en la cantidad y distribución de lluvias, lo que a su vez afecta la disponibilidad de agua y aumenta el riesgo de sequías o inundaciones.

Vulnerabilidad diferenciada. Además, las islas de calor urbano pueden impactar desproporcionadamente a ciertos grupos de la población, como infancias, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas, aumentando su vulnerabilidad a enfermedades relacionadas con el calor, como golpes de calor o deshidratación.

Box 10. Reflexiones para robustecer el análisis de cambios de usos de suelo

Reflexiones para robustecer el análisis de cambios de usos de suelo. El cambio de usos del suelo comprende el conjunto de transiciones físicas que ocurren en el territorio relacionados con las actividades humanas; su análisis es relevante para comprender las dinámicas que se presentan en las diferentes coberturas del terreno.

Una de las maneras más eficientes para la obtención de la información y caracterización de los usos del suelo y sus cambios en el tiempo es la percepción remota, a partir de las herramientas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica. La principal herramienta es la clasificación supervisada generada por medio de imágenes de los satélites con alta resolución Landsat y Sentinel (Proporcionados por la NASA y la Agencia Espacial Europea, respectivamente), identificándose las características territoriales de la zona de estudio, de manera que, entre más pequeño sea el pixel más grado de detalle se logrará.

Los usos analizados son coberturas vegetales, cuerpos de agua y suelo artificializado, el período que se toma en cuenta es del año 2000 al 2023 partiendo de más de dos décadas de análisis y lograr identificar las grandes transformaciones y/o repercusiones en las zonas naturales de Culiacán por el crecimiento descontrolado de su área urbanizada y la pérdida de biodiversidad, destacando la masa arbórea.

Con base en estos análisis es posible calcular las magnitudes de las pérdidas y ganancias de los principales usos del suelo en Culiacán, complementándose con un cuadro descriptivo de las superficies obtenidas por medio del análisis de teledetección.

3.2 Escenarios de cambio climático

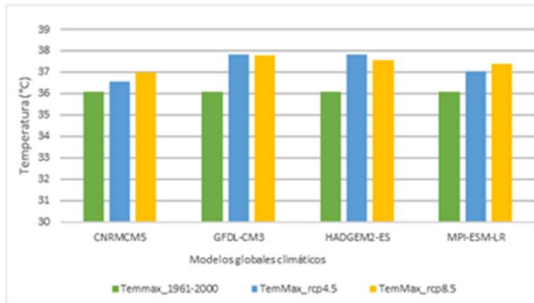
Para analizar la tendencia del cambio climático se utilizó la información de los escenarios de las cuatro proyecciones climáticas denominadas: *Modelos Generales de Circulación (MGC) del Atlas Climático Digital del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM*¹¹.

Se indica únicamente la información de aquellos meses con incidencia mayor o menor en las temperaturas máximas y mínimas, y los meses con menor y mayor precipitación, con el fin de observar si existieran anomalías climatológicas en comparación con el año base de registro de 1961-2000 (*Figura 11*).

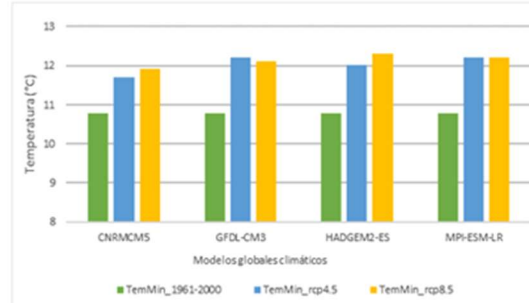
¹¹ Estos MGC se utilizaron en el Quinto Reporte del IPCC, se tiene disponibles resultados para cuatro Modelos de Circulación General, y variables de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación: <https://atlasclimatico.unam.mx/cmip5/visualizador> (IPCC, 2014). Para el Municipio de Culiacán se proyectan a corto plazo (2015-2039), utilizando los modelos CNRMCM5 RCP 4.5, 8.5; GFDL- CM3 RCP 4.5, 8.5; HADGEM2-ES RCP 4.5, 8.5; y MPI-ESM-LR RCP 4.5, 8.5.

Figura 11. Culiacán. Escenarios de Cambio Climático

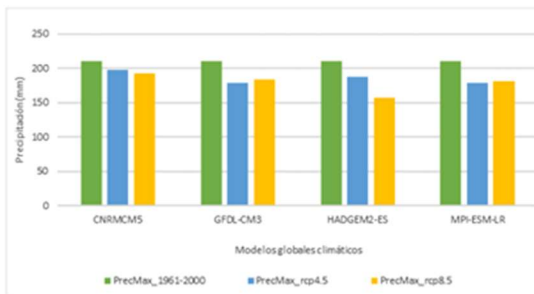
a) Comparativa de temperatura máxima del periodo 1961-2000 con proyección 2015-2039 del mes de junio (mes más cálido), con los cuatro MGC y con RCP 4.5 y 8.5.



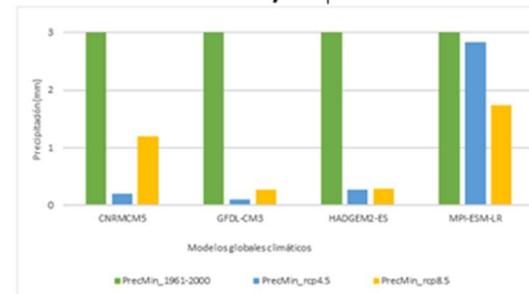
b) Comparativa de temperatura del periodo 1961-2000 con proyección 2015-2039 del mes de enero (mes menos cálido), con los cuatro MGC y con RCP 4.5 y 8.5.



c) Comparativa de precipitación máxima del periodo 1961-2000 con proyección 2015-2039 del mes de agosto (mes más lluvioso), con los cuatro MGC y con RCP 4.5 y 8.5.



d) Comparativa de precipitación mínima del periodo 1961-2000 con proyección 2015-2039 del mes de marzo (mes menos lluvioso), con los cuatro MGC y con RCP 4.5 y 8.5.



Fuente: Elaborado por Centro Eure a partir del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y cambio climático, UNAM.

En los cuatro incisos de la Figura 5, se observa que a corto plazo se predicen variaciones tanto en la temperatura máxima y mínima como en las precipitaciones en Culiacán. El municipio enfrenta un escenario climático que muestra tendencias preocupantes según las predicciones a corto plazo (2015-2039). El enfoque principal de esta predicción se centra en las fluctuaciones de la temperatura máxima durante el periodo de junio a julio, tomando como referencia los registros de 1961 a 2000.

En el inciso a de la figura 5, se observan las fluctuaciones que se predicen a corto plazo (2015-2039), en comparación con los registros históricos de temperatura máxima en el mes de junio. Se observa una línea base constante de 36.07°C para los años comprendidos entre 1961 y 2000. Sin embargo, los modelos de predicción indican un cambio significativo hacia el año 2039. Según los escenarios HADGEM2-ES y GFDL-CM3, ambos bajo el RCP4.5, se proyecta un aumento pronunciado de la temperatura máxima en el mes de junio, alcanzando los 37.8°C. Este incremento de 1.7°C conlleva consecuencias considerables para el municipio y la ciudad de Culiacán.

Tabla 12. Culiacán, Sinaloa. Temperatura máxima promedio y escenarios, 1981-2010

Temperatura máxima	Temperatura máxima	Horizonte cercano (2015- 2039). Temperatura máxima (°C), (mes junio)							
		CNRMCM5		GFDL-CM3		HADGEM2-ES		MPI-ESM-LR	
1981 – 2010 promedio anual	1981 – 2010 (junio)	rcp4.5	rcp8.5	rcp4.5	rcp8.5	rcp4.5	rcp8.5	rcp4.5	rcp8.5
33.1	36.6	36.56	36.97	37.81	37.79	37.83	37.57	37.03	37.39

Fuente: Centro Eure a partir del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y cambio climático, UNAM.

Box 11. Resultado del aumento de temperatura

El resultado de este aumento de temperatura generaría en la población más golpes de calor, deshidratación, mayores enfermedades gastrointestinales; económicamente habría un decremento en la producción en todos los sectores, principalmente en la agricultura y la ganadería, menos alimentos por falta de producción y por la descomposición; ambientalmente habría más incendios forestales y urbanos, cambio en los ecosistemas, erosión y mayor desertificación de los suelos, por mencionar algunas afectaciones (Herrera-Alanís, 2012; NIHHS, 2017).

Para las **precipitaciones** (*figura 5: incisos c y d*) en los escenarios de registros mínimos en el mes de marzo (mes menos lluvioso), se estima que será más frecuente que existan años y meses sin presencia de lluvia o con muy poca, afectando directamente a las zonas de agricultura y cultivos por riego, además de la fauna, en detrimento de los espacios de importancia ecológica, además de déficit en la recarga de los mantos acuíferos, lo que puede propiciar hundimientos y socavones, modificaciones al ciclo natural del agua, aumento de sequía, etc.

Para el caso de los modelos de precipitación máxima en agosto (mes más lluvioso), el modelo HADGEM2-ES prevé la mayor disminución en precipitación máxima de 54.1 mm (RCP 8.5) y el modelo GFDL-CM3 estima una disminución en precipitaciones máximas de 32.1 (RCP 4.5). Con la disminución de las precipitaciones se pronostican bajas lluvias con relación a la frecuencia actual, y con ello, una afectación en el desarrollo de actividades de producción y consumo humano.

3.3 Identificación de peligros climáticos pasados

Los peligros relacionados al cambio climático encontrados en el pasado con base en una revisión de diferentes referencias bibliográficas, estudios, proyectos y datos del municipio de Culiacán son diversos, habiéndose identificado los siguientes: sequía, lluvias extremas, inundaciones pluviales y fluviales, olas de calor, vientos fuertes e incendios forestales.

Para realizar el análisis de estos peligros climáticos, se realizó una revisión de documentos de orden institucional e información hemerográfica de distintos periodos con el objetivo de conocer los impactos generados.

Tabla 13. Culiacán, Sinaloa. Documentos consultados para la identificación de riesgos climáticos pasados

Documentos Institucionales	Fuentes de Información Hemerográfica
Sistema Meteorológico Nacional, Monitor de sequía en México, 2023.	Jiménez, A. A. (2022, 20 diciembre). Consecuencias de la sequía en el Estado de Sinaloa - Noro. Noro. https://noro.mx/consecuencias-de-la-sequia-en-el-estado-de-sinaloa/
Sistema de atlas de peligros y/o riesgos del municipio de Culiacán, Sinaloa, 2020.	De Tecnología Del Agua, I. M. (s. f.-b). Agua, sequía y cambio climático. gob.mx. https://www.gob.mx/imta/prensa/agua-sequia-y-cambio-climatico?idiom=es#:~:text=La%20sequ%C3%ADa%20es%20un%20fen%C3%B3meno,din%C3%A1mica%20atmosf%C3%A9rica%20de%20la%20humedad
Fenómenos climatológicos en el municipio de Culiacán, CENAPRED (2000 a 2019).	Sinaloa, E. D.-. (2023, 23 julio). Fuerte aguacero afecta el servicio eléctrico en Culiacán y zona rural. EL DEBATE - Sinaloa. https://www.debate.com.mx/sinaloa/policiaca/Fuerte-aguacero-afecta-el-servicio-electrico-en-Culiacan-y-zona-rural-20230722-0066.html
	Cae fuerte lluvia en Culiacán; afectadas 100 familias». (2015, 15 noviembre). www.noroeste.com.mx. https://www.noroeste.com.mx/buen-vivir/cae-fuerte-lluvia-en-culiacan-afectadas-100-familias-FINO900746
	De Medios SA De CV Demos, D. (2018, 21 septiembre). La jornada: Culiacán: Tres muertos y cuatro desaparecidos por las lluvias. La Jornada. https://www.jornada.com.mx/2018/09/21/estados/035n1est
	Reflectores MX. (2022, 4 septiembre). Sube a siete los muertos en Sinaloa, durante las inundaciones provocadas por las lluvias. Reflectores MX. https://reflectores.mx/sube-a-siete-los-muertos-en-sinaloa-durante-las-inundaciones-provocadas-por-lluvias/
	Martínez, J. C. (2022, 27 agosto). Inundaciones en calles de Culiacán arrastran personas, vehículos y hasta un cocodrilo. El Universal. https://www.eluniversal.com.mx/estados/inundaciones-en-calles-de-culiacan-arrastran-personas-vehiculos-y-hasta-un-cocodrilo/
	De Sinaloa, M. N. L. J. E. S. (s. f.). Suman 12 muertes por golpe de calor en Sinaloa. El Sol de Sinaloa Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Sinaloa y el Mundo. https://www.elsoldesinaloa.com.mx/local/suman-12-muertes-por-golpe-de-calor-en-sinaloa-10540208.html#:~:text=Culiac%C3%A1n%2C%20Sin.,de%20la%20salud%20en%20Sinaloa.
	De San Luis y Sonia Nochebuena El Sol De Hidalgo, A. R. J. E. S. (s. f.). La ola de calor pone en riesgo la producción de alimentos. El Sol de México Noticias, Deportes, Gossip, Columnas. https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/ola-de-calor-pone-en-riesgo-produccion-de-alimentos-10257736.html
	Varios estados sufren apagones en plena ola de calor, ¿se cumple la advertencia del Cenace? (s. f.). vanguardia.com.mx. https://vanguardia.com.mx/noticias/varios-estados-sufren-apagones-en-plena-ola-de-calor-se-cumple-advertencia-del-cenace-FD8261632
	De Sinaloa, R. J. E. S. (s. f.). De nueva cuenta un fuerte viento e intensa lluvia azota a Culiacán. El Sol de Sinaloa Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Sinaloa y el Mundo. https://www.elsoldesinaloa.com.mx/local/de-nueva-cuenta-fuerte-viento-e-intensa-lluvia-azota-a-culiacan-10580383.html
	Gutiérrez, E. (2023a, agosto 22). Intensas lluvias con fuertes vientos causan estragos en Culiacán. Los Noticieristas. Recuperado 26 de septiembre de 2023, de https://losnoticieristas.com/post/462612/intensas-lluvias-con-fuertes-vientos-causan-estragos-en-culiacan/

Documentos Institucionales	Fuentes de Información Hemerográfica
	BBC News Mundo. (2019b, noviembre 21). Por qué está aumentando la velocidad de los vientos en la Tierra (y cómo nos puede afectar). BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/noticias-50489716
	Navia, T. (2023, 24 mayo). Se registra fuerte incendio forestal en el cerro de La Chiva, Culiacán. Línea Directa. https://lineadirectaportal.com/sinaloa/se-registra-fuerte-incendio-forestal-en-el-cerro-de-la-chiva-culiacan-2023-05-24__841384

Fuente: Centro Eure a partir de información de los documentos y notas periodísticas.

Estos documentos abordan información referente a los peligros climáticos y sus impactos, permitiendo identificar seis peligros que han sido centrales para analizar los peligros actuales. Los resultados muestran una tendencia al incremento de algunos de los fenómenos hidrometeorológicos como calor extremo, olas de calor, sequías y paralelamente lluvias extremas en algunos periodos del año, lo cual aumenta la importancia de fortalecer las medidas de adaptación.

Tabla 14. Culiacán, Sinaloa. Peligros pasados en el municipio

#	Peligro/ Amenaza	Relación al Cambio Climático	Impactos asociados
1	Sequía	La sequía es un fenómeno meteorológico asociado al cambio climático que puede presentarse en cualquier lugar y momento y se caracteriza por la escasez o ausencia de agua. Las sequías son resultado de una alteración en la dinámica atmosférica de la humedad. (IMTA, 2013).	- Disminución del alimento del ganado, y por lo tanto, muerte de éste. - Disminución del volumen de los pozos de abastecimiento. - Reducción de cantidad de cosechas - Degradación del suelo. - Se reduce la disponibilidad de agua para consumo humano debido al bajo nivel de las presas.
2	Lluvias Extremas	El aumento de temperaturas eleva la humedad en el aire, propiciando lluvias más intensas del promedio. En el municipio muchos de estos eventos son causados por fenómenos meteorológicos, como ciclones tropicales y/o huracanes.	- Afectaciones en la red de suministro eléctrico. - Inundaciones. - Caída de árboles - Deslaves. - Daños a viviendas, automóviles y carreteras. - Fallecimiento de población afectada (por lo menos 7 personas en el 2022).
3	Inundación pluvial y fluvial	Debido a las lluvias extremas, se aumenta la masa de los cuerpos de agua, llegando a presentarse inundaciones fluviales, o pluviales (sin que se desborde ningún cuerpo de agua).	- Inundación de viviendas - Muertes por arrastre y ahogamiento. - Inundaciones en puntos emblemáticos de la capital del estado, como la capilla de Jesús Valverde - Arrastre vehículos y personas. - Afectaciones en viviendas, donde tres mujeres tuvieron que ser rescatadas.
4	Olas de calor	El aumento de las temperaturas debido al cambio climático está haciendo que las olas de calor sean más duraderas, extremas y más frecuentes con el paso de los años.	4 muertes por golpe de calor con fecha de corte del 15 agosto de 2023. 2 casos atendidos por golpe de calor, a fecha del 18 de junio de 2023. - Se produce menos huevo, leche y carne por el estrés en animales. - Muerte de ganado. - Cortes a la energía eléctrica, provocando pérdidas económicas y daños a la infraestructura. - Las plantas comienzan a evapotranspirar con exceso y se marchitan. Los incendios forestales aumentan.

#	Peligro/ Amenaza	Relación al Cambio Climático	Impactos asociados
5	Viento fuerte	La causa principal del aumento de la velocidad del viento está asociada a cambios en la circulación atmosférica, y ciclos que ocurren en las oscilaciones atmósfera-océano. (BBC News Mundo, 2019).	• Caída de árboles • Cortes al suministro eléctrico • Caída de espectaculares
6	Incendios Forestales		• Incendio en el Cerro de la Chiva en mayo de 2023 durante aproximadamente 4 días. • Pérdida de bosque.

Fuente: Elaborado por Centro Eure.

IV. Causas atribuibles a la urbanización y a las funciones en la ciudad

El calor extremo y, en general el cambio climático, se han agudizado por las decisiones que se toman con relación a la urbanización. El proceso de expansión territorial y poblacional, como consecuencia del proceso de urbanización-industrialización que ha experimentado México, ha ocurrido sin orientaciones de orden ambiental, y se observa que buena parte de las ciudades y metrópolis, han expandido sus áreas urbanizadas varias veces más que el crecimiento poblacional y una consecuencia (y causa) de esto, ha sido la explosión del crecimiento del parque vehicular, destacando los automóviles. Es decir, las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el funcionamiento de la ciudad son causales del agudizamiento de las consecuencias ambientales, incluyendo el incremento de las temperaturas promedio y el aumento de las "islas de calor".

Es necesario profundizar en los procesos y problemas de la urbanización considerando su contexto socioeconómico, político y espacial porque, salvo muy honrosas excepciones, predomina el discurso de la planificación territorial y urbana y no la ejecución y evaluación de lo planificado en los planes y programas. Entre otras evidencias de lo anterior, destacan cuando menos cuatro cuestiones:

- La primera, que prácticamente todos los planes y programas de ordenamiento territorial y desarrollo urbano en México asumen discursivamente que son integrales, que tienen visión de largo plazo y que han sido elaborados con la participación de la sociedad, cuestiones que, en general, no son exactas.
- La segunda, que, en general, no existen procesos de evaluación de los impactos por la ejecución de planes y programas.
- La tercera, que no hay consecuencias legales por incumplimiento o distorsión de planes y programas de ordenamiento territorial y desarrollo urbano.
- La cuarta se refiere a que los planes y programas –desarrollo urbano, ordenamiento ecológico, movilidad sustentable, prevención de riesgos, acción climática- no se alinean entre ellos, aunque se refieren a un mismo territorio y a una misma población, sea un municipio, una ciudad, una metrópoli, una región, etc.

Si bien se reconoce en los documentos legales y de planeación, que el suelo y la localización de todo tipo de funciones urbanas, son factores centrales para la preservación ambiental -y consecuentemente- para evitar mayores impactos negativos por el crecimiento de las temperaturas, persisten diversas limitaciones sobre la gestión del desarrollo urbano en la toma de decisiones en los gobiernos locales, particularmente, sobre diversos temas como los siguientes:

- La correcta definición de usos del suelo en lugares aptos para la urbanización y soportados en compromisos de preservación ambiental.
- El acceso muy desigual a suelo urbano apto por parte de los grupos sociales provocando mayor deterioro ambiental.
- La baja capacitación de las y los funcionarios y actores sociales responsables de la urbanización y, sobre todo, de sus consecuencias ambientales.
- Las carencias de información adecuada y suficiente sobre los procesos ambientales en el hábitat urbano y particularmente, en las causas y consecuencias del calor extremo y, concomitantemente, la ausencia de procesos de evaluación de planes y de políticas públicas espaciales y ambientales.

Este conjunto de limitaciones y carencias han tenido serias consecuencias en el agudizamiento del deterioro ambiental, en el cambio climático y en el aumento de las temperaturas promedio en las ciudades y metrópolis.

81

Más específicamente, destacan varias acciones recurrentes que se observan en las ciudades mexicanas y particularmente en Culiacán:

- La destrucción de zonas con cubierta vegetal nativa y la tala de árboles para ocupar los predios con construcciones e instalaciones diversas. En Culiacán, el proceso de expansión dispersa de la urbanización se ha extendido en todas direcciones y en los últimos 23 años (de 2000 a 2023) creció a un promedio anual de 2.47 km². (ver análisis Cambios de uso de suelo).
- La (casi) ausencia de estrategias y acciones de eficiencia energética como son los techos reflectantes, el aprovechamiento de la incidencia solar a través de paneles y calentadores solares.
- El aumento de la contaminación atmosférica al promoverse el uso del automóvil desde diferentes acciones públicas (subsidio a la gasolina, construcción de pasos a desnivel y libramientos carreteros urbanos, etcétera). En el caso de Culiacán, en 2015, el parque vehicular tenía 454,168 registros sin considerar los no registrados que circulan en la ciudad (INEGI, 2023) y en 2023, se registraron en circulación 641,253 vehículos, lo que significó un incremento de 23,385 vehículos cada año.
- La intensa congestión vehicular, caracterizada por vehículos obsoletos y en estado deficiente, junto con la insuficiencia de infraestructura vial adecuada, ha resultado en un incremento significativo de las

emisiones de gases tóxicos. Estas emisiones han deteriorado la calidad del aire y han desempeñado un papel destacado en el fenómeno del calentamiento.

- El desarrollo urbano ha incidido negativamente en el entorno natural, las riberas de los ríos han sufrido alteraciones a consecuencia de modificaciones y alteraciones a los cauces para la construcción de desarrollos inmobiliarios, degradación de la cubierta vegetal por actividades antrópicas y naturales, además de otras modificaciones a las condiciones ambientales originales de estas zonas.
- Las muy limitadas acciones de adaptación y mitigación, frente al cambio climático y frente al calor extremo, lo que propicia el incremento de temperaturas, y con este, más y más violentos incendios forestales y mayor vulnerabilidad de la flora y fauna.

La tendencia al alza de las temperaturas es significativa en Culiacán (se estima un incremento de 1.76 grados al 2050), por lo que es necesario prever los crecientes desafíos que significará para la ecología y para la sostenibilidad del municipio y su zona metropolitana. Este aumento de temperatura, impulsado por el actual patrón de consumo de recursos y la pérdida de biodiversidad, amenaza con perturbar el equilibrio ecológico de la región. Para abordar estos riesgos, es imperativo implementar medidas de mitigación que contrarresten los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la formación de islas de calor en las áreas urbanizadas. Estas medidas no solo buscan contrarrestar el aumento térmico local, sino que también buscan fomentar un entorno más sostenible y resiliente para la sociedad culichi.

82

Las Islas de Calor Urbanas (ICU), son, esencialmente, la consecuencia de acciones urbanísticas, pueden manifestarse en lugares donde la disminución de zonas verdes y el incremento de superficies pavimentadas y edificadas tienen un impacto notable en el clima local.

En el pasado, buena parte de las áreas, en las que ahora se han construido desarrollos habitacionales, centros comerciales y otras edificaciones, contaban con espacios verdes que proporcionaban sombra y alivio del calor en el entorno de la ciudad.

El uso generalizado del concreto y otros materiales de construcción en estas áreas, ha resultado en una mayor acumulación y retención de calor solar durante el día. Como consecuencia, se ha notado un incremento de las temperaturas en las ICUs en estas zonas urbanas, afectando a las comunidades asentadas y sobre todo a los trabajadores al aire libre.

Varios cambios de uso de suelo en áreas que en el año 2000 eran una mezcla de zonas forestales y agrícolas, se han transformado en 2023 en zonas industriales y residenciales, lo que ilustra claramente el impacto del desarrollo urbano en las Islas de Calor Urbanas. La comparación entre los años 2000 y 2023 revela un notorio aumento de temperatura en cada una de las áreas urbanizadas.

En el pasado, estas regiones solían estar marcadas por una combinación de vegetación y tierras de cultivo que desempeñaban un papel importante en la regulación de la temperatura y la calidad del aire. Sin embargo, con el crecimiento y la expansión de áreas residenciales, se ha producido una reducción significativa de estas zonas verdes, reemplazadas por superficies pavimentadas y construcciones.

La disminución de la cobertura forestal tiene un impacto significativo en la regulación del clima local, ya que los árboles proporcionan sombra, evaporación y enfriamiento a través de la transpiración. La conversión de áreas forestales en zonas residenciales elimina estos beneficios naturales y aumenta la exposición al calor solar directo, lo que contribuye al aumento de temperaturas en las ICUs. El concreto y otros materiales urbanos tienen una alta capacidad de absorción y retención de calor, lo que ha llevado al aumento de las temperaturas en estas áreas urbanas. Las superficies urbanizadas actúan como radiadores naturales, liberando el calor acumulado durante el día, incluso durante las horas nocturnas, lo que contribuye al fenómeno de las ICUs.

Resulta fundamental que la sociedad conozca y entienda el significado y el impacto negativo que genera el priorizar la construcción, poniendo por delante el interés personal de edificar sin dejar espacios verdes y eliminando árboles. Un cambio en estos comportamientos es necesario, lo que debe regularse e incentivarse desde el gobierno municipal y estatal.

Es igualmente importante generar y comunicar información sobre cuáles son las áreas específicas del municipio y de la metrópoli con mayores niveles de vulnerabilidad a los efectos del calor extremo. Así como identificar sus causas (zonas más deforestadas, con menor porcentaje de áreas verdes, más propensas a sequías o inundaciones, con mayor actividad industrial, con infraestructura o materiales de construcción menos aptos para resistir el calor extremo, etc.).

V. Consecuencias del calor extremo

Los efectos del calor extremo se observan en la salud y en la calidad de vida de las personas y de la sociedad en general, en la productividad de la economía, en la funcionalidad de las ciudades y en el deterioro de la biodiversidad y de recursos naturales como el agua. En este capítulo se identifican algunas de las consecuencias del calor extremo que podrían registrarse en el municipio de Culiacán.

5.1 Efectos a la salud

El **impacto en la salud** es importante sobre todo cuando se incrementa la temperatura ambiental, ya que puede provocar enfermedades e inclusive causar la muerte durante una ola de calor. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) señala que la exposición a un calor excesivo tiene impactos fisiológicos de gran alcance en todos los seres humanos, y a menudo amplifica las enfermedades existentes y se traduce en muerte prematura y discapacidad.

Según el organismo, la exposición de la población al calor es cada vez mayor debido al cambio climático, y esta tendencia va a mantenerse. A escala mundial, se observa que los fenómenos de temperaturas extremas están aumentando en cuanto a su frecuencia, duración y magnitud.

Estimar el impacto a la salud pública del calor extremo es difícil, porque las enfermedades relacionadas con el calor, tales como el golpe de calor y la fatiga por calor, no requieren de notificación epidemiológica, además las enfermedades por calor son frecuentemente mal clasificadas o no reconocidas, por lo que los estimados de muertes relacionadas al calor son menores que lo que representan los números reales.

En México, a partir del 2014, la Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud agrega a su lista la enfermedad “Efectos del calor y de la luz (clave CIE10 T67, X30)”; sin embargo, no está considerada dentro de las “veinte principales causas de enfermedad” en Sinaloa. A nivel nacional, es una enfermedad que cobró la vida de 2,410 personas tan solo en 2022 y de enero a junio de 2023, la de 2,454 personas (*Tabla 15*).

Tabla 15. Casos de enfermedad “Efectos del calor y de la luz “(clave CIE10 T67, X30), 2014 a 2023

Entidad	Año									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Baja California	305	425	494	622	1,030	458	302	372	424	19
Baja California Sur	46	44	32	80	66	41	19	40	30	21
Nuevo León	32	165	234	285	11	653	147	115	133	912
Sinaloa	71	529	203	91	68	85	86	63	89	45
Sonora	581	701	442	755	699	454	233	691	488	161
MÉXICO	2,521	4,566	3,467	3,820	3,318	3,701	1,542	2,169	2,410	2,454

Nota: datos del año 2023 son hasta la semana epidemiológica 26 (25 de junio al 01 de julio 2023).

Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud (2023).

Para fines del presente estudio, las consecuencias del calor extremo en la salud se analizan tomando como parámetro el Índice de Calor o Heat Index by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), mismo que representa un método eficiente para clasificar territorios de acuerdo con su temperatura del aire y la exposición a la luz solar directa. Además, logra identificar efectos en el cuerpo a partir del aumento de la temperatura, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Índice de calor o Heat Index

Clasificación	Índice de calor	Efecto en el cuerpo
Precaución	80°F - 90°F (30°C - 35°C)	Fatiga posible con exposición prolongada y/o actividad física
Extrema precaución	90°F - 103°F (35°C - 40°C)	Golpe de calor, calambres por calor o agotamiento por calor posible con exposición prolongada y/o actividad física
Peligro	103°F - 124°F (40°C - 50°C)	Es probable que se produzcan calambres por calor o agotamiento por calor, y posible golpe de calor con exposición prolongada y/o actividad física
Peligro extremo	125°F o más (50°C o más)	Golpe de calor muy probable (con probabilidad de muerte)

Fuente: Centro Eure, a partir de *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Disponible en <https://www.weather.gov/ama/heatindex>

A partir del Índice de Calor, es posible clasificar para México a aquellas entidades con temperaturas máximas, iguales o mayores a 30°C, de precaución, extrema precaución y peligro. De tal manera, son identificadas las 31 entidades federativas en algún rango de la clasificación, por lo que el fenómeno de temperaturas extremas se da a nivel nacional, aunque en distinta intensidad (Secretaría de Salud, 2024).

En el caso del estado de Sinaloa se ubica en el rango de **PELIGRO ante las temperaturas máximas de entre 40 y 45°C**, con efectos en el cuerpo son calambres por calor o agotamiento por calor, y posible golpe de calor con exposición prolongada y/o actividad física. El registro corresponde a la semana epidemiológica 21 (Información del 22– 28 mayo 2024), la más calurosa del año (Secretaría de Salud, 2024).

En lo que va de la temporada de calor¹ al 13 de agosto de 2024 en el país se tiene un acumulado de 3,544 casos de enfermedades relacionadas con el calor extremo y 274 defunciones (Secretaría de Salud, 2024).

Tabla 17. Clasificación de entidades de México que presentan temperaturas máximas, 2024

Clasificación	Índice de calor	Efecto en el cuerpo
Precaución	80°F - 90°F (30°C - 35°C)	Aguascalientes y Ciudad de México.
Extrema precaución	90°F - 103°F (35°C - 40°C)	Zacatecas y Estado de México (suroeste).
Peligro	103°F - 124°F (40°C - 50°C)	Baja California, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo (norte), Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla (norte y suroeste), Querétaro (norte), Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa , Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán.
Peligro extremo	125°F o más (50°C o más)	-

Nota: la temperatura máxima corresponde al registro de la semana del 22 al 28 de mayo de 2024, considerada la más calurosa de 2024.
Fuente: Secretaría de Salud (2024). Temperaturas naturales extremas (Temporada de calor 2024), semana epidemiológica 21. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/918926/TNE__2024__SE21.pdf

En Culiacán el peligro de calor extremo se clasifica como alto. Esto significa que se espera que en los próximos cinco años ocurra al menos una vez una exposición prolongada al calor extremo, causando como resultado estrés térmico. Año con año se registran olas de calor que, en ocasiones, son mayores a 40 grados centígrados (Think Hazard, 2020).

Los síntomas más comunes que puede presentar una persona al verse afectada por un golpe de calor son el agotamiento, sequedad en la boca, mucha sed y calambres en extremidades. Las personas que han estado expuestas al sol durante un tiempo más o menos importante con temperaturas muy altas, presentan una elevación de la temperatura muy severa, arriba de 40 °C, y junto con eso se vienen toda una serie de trastornos acompañados de calentura alta, que se manifiesta por la falla progresiva de distintos órganos (Salud Sinaloa, 2022).

¹ Del 17 de marzo al 5 de octubre de 2024.

Igualmente, después de iniciar la temporada de calor, rotavirus y bacterias se incrementan en Sinaloa, provocando enfermedades gastrointestinales, cuyo síntoma principal es la diarrea, afectando principalmente a los niños menores de 5 años (El Sol de Sinaloa, 2023).

Box 12. Reflexión para profundizar el análisis sobre las consecuencias directas e indirectas en la salud

Reflexión para profundizar el análisis. Es fundamental, elaborar los estudios necesarios, a partir del levantamiento de información detallada, sobre las consecuencias, directas e indirectas en la salud, de las altas temperaturas en la ciudad de Culiacán. Es necesario identificar cuantas enfermedades, que se suponen provienen de situaciones distintas a las temperaturas extremas, en la realidad, son consecuencia de estas; lo anterior, es particularmente relevante, porque las tendencias y proyecciones a futuro muestran que el fenómeno de calor extremo se agudizará.

En este sentido, es necesario recabar información de las áreas de salud de los tres ámbitos de gobierno, a fin de averiguar, si como producto de las olas de calor, se produce un incremento de enfermedades de transmisión vía mosquitos (por ejemplo, dengue), así como de enfermedades gastrointestinales, deshidratación y otras que son consecuencias de golpes de calor, como ocurre en otros lugares. Así como información sobre otro tipo de problemáticas a la salud relacionadas con los incrementos de temperatura. Será conveniente contar con información de décadas pasadas a fin de establecer tendencias.

5.2 Consecuencias a la población

Durante 2023, se registraron en Sinaloa 115 agotamientos por calor y 47 golpes de calor. Los rangos de edades más afectados fueron, desde los 35 hasta los 65 años, destacando las personas que trabajan a la intemperie y/o que están expuestas a las altas temperaturas. Las y los trabajadores de la construcción, agricultura o ganadería, entre otros, son quienes están más propensos a sufrir un golpe de calor o agotamiento por calor, debido a que están más expuestos a la intemperie y a las altas temperaturas (Figueroa, 2023).

En este mismo año, la Secretaría de Salud del estado informó que las altas temperaturas afectaron la salud de los sinaloenses, y se registraron 12 muertes por golpe de calor. Las muertes se registraron en diferentes municipios: 5 en Ahome, 4 en Culiacán y 3 en Navolato, siendo trabajadores de la construcción y en campos agrícolas (El Sol de Sinaloa, 2023). Sin embargo, probablemente los datos de mortalidad producto del calor extremo deben estar subestimados, como en el resto del mundo, puede ser que parte del problema es la carencia de datos confiables.

Igualmente, se reconoció que debido a las altas temperaturas que se registraron en el mes de junio de 2022 en el municipio de Culiacán, cuatro personas fallecieron, de cinco que fueron atendidas en el Sector Salud, al verse afectadas por un “golpe de calor” (Salud Sinaloa, 2022) Por las altas temperaturas, los alimentos se descomponen rápido, causando diarrea y vómitos en la población por el consumo de alimentos en mal estado (Castro, 2023). Los efectos del calor extremo impactan a la población en general, sin embargo, hay grupos con mayor vulnerabilidad como son los niños menores de 5 años, mujeres embarazadas, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas, trabajadores a la intemperie y personas en situación de calle.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) desarrolló el Índice de Vulnerabilidad Social por Ondas de Calor a partir de experiencias y metodologías implementadas en otros países como España y Estados Unidos; esta metodología se definen indicadores básicos que permiten identificar grupos vulnerables y las consecuencias del calor extremos en ellos (CENAPRED, 2017).

Factores o indicadores como la estructura poblacional, actividad económica, ingresos y condiciones de la vivienda son utilizados para determinar la vulnerabilidad social de la población (CENAPRED, 2017). En el caso del presente estudio, se utilizan para identificar y dimensionar los grupos de población más vulnerables y las consecuencias que pueden sufrir a causa del calor extremo.

Para el caso del municipio de Culiacán son los siguientes:

Tabla 18. Culiacán, Sinaloa. Identificación de grupos vulnerables a los efectos del calor extremo en la población, 2020

Tema	Indicador	Valor
Salud	Población de 0 a 14 años (INEGI, 2020)	240,043 personas. 23.9% de la población total.
	Población de 65 años y más (INEGI, 2020)	74,751 personas. 7.4% de la población total.
	Embarazadas	-
	Población no derechohabiente a servicios de salud (INEGI, 2020)	202,978 personas. 20.2% de la población total.
	Médicos por cada mil habitantes (INEGI, 2020)	1.52 médicos por cada mil habitantes.
Empleo e ingresos	Índice absoluto de intensidad migratoria (2010)	Bajo, aunque actualmente (2024) el municipio es receptor de población víctima de desplazamiento interno forzado.
	Trabajadores al aire libre (construcción, campo, etc.) ¹	103,734 personas 24.4% de la PEA total.
Vivienda	Vivienda sin servicio de agua entubada	2,465 viviendas 8,677 personas
	Vivienda sin servicio de electricidad	487 viviendas 1,714 personas
	Vivienda sin servicio drenaje	3,047 viviendas 10,725 personas

Fuente: INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda y Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG).

En términos de salud, una consecuencia común es la deshidratación que ocurre por la pérdida excesiva de líquidos y electrolitos durante olas de calor; cuando esto sucede el cuerpo pierde más líquidos de lo normal, y es necesaria la rehidratación constante sin esperar a sentir sed, bebiendo agua simple de manera recurrente y consumiendo alimentos ricos en agua como lechuga, sandía o brócoli (Gobierno de México, 2023; Secretaría de Salud, 2022).

¹ Considera la PEA ocupada en los sectores (INEGI, 2020): Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza, minería, industrias manufactureras, electricidad y agua y construcción.

En paralelo, está el riesgo de *enfermedades diarreicas agudas (Edas)*, como resultado de comer alimentos expuestos al calor y que tienden a descomponerse. La diarrea es un síntoma de infección del tracto digestivo que puede estar ocasionada por organismos bacterianos, parásitos e inclusive virus. Se transmite por alimentos o agua contaminados y puede ocasionar deshidratación y causar la muerte de no ser tratados (OMS, 2017).

Se recomienda que, ante la presencia de una ola de calor, la población se exponga lo menos posible a los rayos de sol; que se hidrate, utilice bloqueadores solares, sombreros, y extreme precauciones para evitar *golpes de calor*.

El calor no solo causa enfermedades directamente relacionadas con las temperaturas elevadas, sino que también puede exacerbar otras condiciones médicas preexistentes. Por ejemplo, puede aumentar la probabilidad de ataques cardíacos, insuficiencia respiratoria y complicaciones en personas con diabetes. Muchas de estas condiciones agravadas pueden no ser inmediatamente atribuidas al calor, lo que contribuye a subestimar su impacto en la salud humana.

Otros impactos relevantes de este fenómeno y que de manera directa o indirecta afectan la salud física y/o mental de las personas se presentan en los niños, al reducir su capacidad para concentrarse en la escuela; en las mujeres embarazadas porque corren el riesgo de aborto, y en los adultos mayores porque están más expuestos a episodios de insolación severa con graves peligros para su salud debido a la reducida capacidad de adaptar su cuerpo a cambios de temperatura, como es el caso de deshidratación y de problemas cardiovasculares.

El calor extremo puede generar los siguientes efectos en la población:

88

1. Efectos en la Salud Mental:

- **Estrés y Ansiedad:** Las altas temperaturas pueden contribuir al aumento de la irritabilidad, el estrés y la ansiedad, afectando la salud mental de las personas.
- **Aumento de la Violencia:** Estudios han mostrado que el clima extremo puede estar asociado con un incremento en la violencia y la criminalidad, lo que puede generar un ambiente de inseguridad y estrés.

2. Impacto en la Productividad:

- **Rendimiento Laboral:** El calor extremo puede reducir la productividad en el trabajo, afectando la concentración y el rendimiento físico, lo que puede llevar a un aumento en los accidentes laborales.
- **Asistencia Escolar:** Las altas temperaturas pueden afectar la asistencia escolar y el rendimiento académico, especialmente en regiones sin acceso a aire acondicionado.

3. Problemas de Sueño:

- **Insomnio y Alteraciones del Sueño:** Las noches calurosas pueden dificultar el sueño reparador, lo que puede tener efectos negativos en la salud física y mental.

4. Aumento de Enfermedades Infecciosas:

- **Propagación de Patógenos:** El calor extremo puede favorecer la proliferación de mosquitos y otros vectores, aumentando el riesgo de enfermedades transmitidas por insectos, como el dengue y el zika.
- **Contaminación del Agua:** Las altas temperaturas pueden afectar la calidad del agua, lo que puede conducir a un aumento en enfermedades gastrointestinales.

La intensidad del calor ha alcanzado también a los animales. Aquellos que están libres pueden buscar protección, pero *las mascotas*, en general, pueden estar expuestas a afectaciones graves de su salud al vivir en zonas urbanizadas y correr el riesgo de quemaduras en sus patas por el calor de los pavimentos, por la exposición excesiva a los rayos del sol por falta de un techo que las proteja, por permanecer dentro de un vehículo sin ventilación o por la falta de agua¹.

Además, se pueden generar alteraciones en su comportamiento, pues el calor extremo puede hacer que los animales se vuelvan más agresivos o, por el contrario, más apáticos. Esto puede afectar la dinámica social en grupos de animales.

Por otro lado, la fauna silvestre se ve impactada de la siguiente manera:

- **Desplazamiento de Hábitats:** El aumento de las temperaturas puede forzar a muchas especies a desplazarse a nuevas áreas en busca de condiciones más favorables, lo que puede alterar ecosistemas enteros.
- **Pérdida de Hábitat:** Las condiciones extremas pueden destruir hábitats críticos, afectando la biodiversidad y la supervivencia de muchas especies.

Las condiciones de cría también se ven trastocadas a partir del exceso de calor, por ejemplo, afectando la producción de leche y carne, ya que los animales pueden tener menor rendimiento debido al estrés del calor.

En términos de empleo e ingreso, las personas que deben estar en el exterior expuestas a los rayos del sol en lugares con calor extremo y particularmente en las horas de mayor intensidad de radiación solar UV (generalmente entre las 11 y las 16 hrs), sufren de afectaciones en la piel. Cuando la temperatura supera los 37.7°C, el riesgo de heridas y accidentes se incrementa 15% para quienes trabajan en fábricas.

El golpe de calor se presenta cuando el organismo no logra regular la temperatura extrema, por lo que puede presentar temperatura elevada (mayor a 39°C) piel roja, caliente y seca, pulso más rápido de lo normal, dolor de cabeza, mareos, náuseas y confusión, así como pérdida de conciencia, que en casos severos pueden llevar a un coma o a la muerte.

¹ <https://ciencia.unam.mx/contenido/infografia/77/infografia-evita-que-tu-perro-sufra-un-golpe-de-calor>

Lo recomendable cuando una persona está sufriendo un golpe de calor es colocarlo en algún lugar fresco o a la sombra, darle a beber pequeños sorbos de agua y aflojarle la ropa. En casos extremos como vómito o pérdida del conocimiento, lo recomendable es llevarlo a la unidad médica más cercana (Gobierno de México, 2023; Secretaría de Salud, 2022).

Asimismo, se generan los siguientes impactos sobre el empleo y las actividades económicas:

1. Reducción de la productividad:

- Bajas en el rendimiento laboral: El calor extremo puede llevar a una disminución en la productividad de los trabajadores, especialmente en sectores como la agricultura, la construcción y la manufactura, donde las condiciones de trabajo al aire libre son comunes.

2. Aumento de accidentes laborales:

- Mayor riesgo de accidentes: Las altas temperaturas pueden aumentar la probabilidad de accidentes laborales debido a la fatiga, deshidratación y falta de concentración, lo que puede resultar también en costos adicionales para las empresas.

3. Cambios en el empleo estacional:

- Afectación de trabajos temporales: En sectores como la agricultura, el calor extremo puede afectar los ciclos de cultivo, resultando en menos trabajos temporales disponibles durante las temporadas de cosecha.

4. Costos de salud:

- Aumento en gastos médicos: Los trabajadores expuestos a altas temperaturas pueden enfrentar problemas de salud, lo que puede generar un aumento en los costos de atención médica y ausentismo, afectando su capacidad para trabajar y también reduciendo sus ingresos.

5. Impacto en el turismo:

- Disminución de visitantes: Las altas temperaturas pueden hacer que los destinos turísticos sean menos atractivos, lo que puede resultar en una reducción en la demanda de servicios turísticos y empleo en este sector.

6. Adaptación de empresas:

- Costos de adaptación: Las empresas pueden verse obligadas a invertir en medidas de adaptación, como sistemas de refrigeración y mejores condiciones de trabajo, lo que puede afectar sus márgenes de ganancia y, por ende, los ingresos de los empleados.

7. Impacto en la agricultura:

- Reducción de ingresos agrícolas: El estrés térmico en cultivos y ganado puede llevar a una disminución en la producción agrícola, afectando los ingresos de los agricultores y la seguridad alimentaria.

8. Efectos en la salud mental:

- Estrés laboral: El calor extremo puede aumentar el estrés y la ansiedad en el lugar de trabajo, lo que puede afectar la salud mental de los empleados y su rendimiento laboral.

En términos de vivienda, las ondas de calor intensifican la demanda de sistemas de refrigeración (como aire acondicionado), lo cual impacta la producción y distribución de energía, ya que estas infraestructuras son las únicas que tanto la demanda como el servicio son afectados por el calor. Además, el incremento en facturas de energía impacta en mayor medida a los hogares de menores ingresos.

Otros impactos en la vivienda tienen que ver con:

1. **Salud en el hogar:** Las viviendas mal ventiladas o sin aire acondicionado pueden convertirse en ambientes peligrosos, aumentando el riesgo de golpes de calor y otros problemas de salud. Y por otro lado, el uso intensivo de sistemas de refrigeración puede contribuir a la acumulación de contaminantes en el interior, afectando la salud de los residentes.
2. **Deterioro de materiales de construcción:** El calor extremo puede afectar la durabilidad de los materiales de construcción, provocando un mayor desgaste en techos, paredes y cimientos, lo que puede resultar en costosas reparaciones.
3. **Riesgo de incendios:** Las altas temperaturas pueden aumentar el riesgo de incendios urbanos, amenazando la seguridad de las viviendas y la vida de los residentes.
4. Y finalmente, el calor excesivo puede obligar a las personas a **desplazarse**, lo cual generaría mayor presión y demanda de vivienda en zonas más templadas.

91

5.3 Consecuencias a la biodiversidad

En los últimos años, el municipio de Culiacán ha sido particularmente vulnerable a los efectos del calor, afectando principalmente a la agricultura y provocando daños a la diversidad biológica; la aparición de nuevas enfermedades, la disminución de algunas especies, la desaparición de los individuos más grandes en los ecosistemas y la migración de animales de sus hábitats, son algunas de las consecuencias del calor extremo (Moreno,2012).

Debe tomarse en cuenta que, durante los últimos años, la mancha urbana de la ciudad de Culiacán ha tenido una gran expansión; como ya se mencionó, mientras que en 2007 ocupaba el 11% de territorio municipal, para 2017 el porcentaje aumentó a 20%, con un incremento de aproximadamente 6 mil 830.5 has en los últimos 10 años; esto ha provocado el crecimiento de la ciudad, ha provocado el desplazamiento de la agricultura y afectado las zonas de vegetación. (IMPLAN, 2015) las áreas agrícolas perdidas en el sector noroeste y sur de la ciudad.

El suelo natural cumple una función primordial en el mejoramiento de la calidad del ambiente. Las áreas que contienen un alto porcentaje de cobertura vegetal, proveen múltiples beneficios: la conservación de la biodiversidad, regulación del clima y reducción 'islas de calor'; detienen el polvo y partículas suspendidas, amortiguan y disminuyen los niveles de ruido, contribuyen en la remoción de la contaminación del aire y generan oxígeno; además, mejoran las condiciones del suelo, regular el microclima, evitan la erosión, y propician el desarrollo de la fauna, brindándole refugio, protección y alimento.

Las olas de calor registradas en el norte México se están convirtiendo en "tsunamis" que están provocando afectaciones en la salud física y mental, sequías y escasez de agua, disminuyendo la disponibilidad de agua para consumo humano, para agricultura, para producción de alimentos y para la preservación de ecosistemas acuáticos; también generan alto riesgo de incendios forestales que impactan ecosistemas y biodiversidad y reducen la calidad del aire. La suma de todo está provocando también problemas sociales, económicos y de movilidad (Guzmán, 2023).

Adaptación basada en Ecosistemas una alternativa urgente. Como menciona la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, la "Adaptación basada en Ecosistemas" (AbE), utiliza como estrategia de adaptación, a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, para ayudar a la población a adaptarse al cambio climático y a los efectos que este trae consigo. Su propósito es mantener y aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas.

La AbE se puede usar como una de las medidas de adaptación, de manera local y a largo plazo, utilizando sistemas de alerta temprana, educación e infraestructura. La AbE comprende un amplio rango de actividades de manejo de ecosistemas, algunos citados a continuación, pueden ser considerados para Culiacán (Lhumeau, 2012):

- Manejo integrado del recurso hídrico reconociendo el rol de las cuencas hidrográficas, los bosques, selvas y la vegetación asociada en la regulación de los flujos de agua.
- Establecimiento de sistemas agropecuarios diversos, donde la utilización del conocimiento local sobre cultivos y el mantenimiento de la diversidad genética de los cultivos agrícolas, contribuyen a asegurar la provisión de alimentos frente a condiciones climáticas cambiantes.
- Manejo de matorrales y arbustos para evitar los incendios forestales.
- Establecimiento y manejo efectivo de sistemas de áreas protegidas para asegurar la provisión de servicios ecosistémicos.

Si estas actividades son planificadas y diseñadas apropiadamente, pueden proporcionar beneficios como la conservación de la biodiversidad, la reducción del riesgo de desastres, secuestro de carbono, mantenimiento de los medios de vida y la seguridad alimentaria, así como el manejo integrado del recurso hídrico (Lhumeau, 2012).

Como se ha reiterado en este texto, Culiacán ha sufrido una pérdida de vegetación considerable, causada por el incremento de la urbanización y la expansión de la agricultura. El suelo natural pasó de tener 37,639 has (48%) a 28,810 (37%), perdiendo más del 10% de la cobertura que ocupaba en el territorio (IMPLAN, 2021).

5.4 Consecuencias en el desarrollo urbano

Como se adelantó antes, un factor relevante que afecta el clima de la ciudad, particularmente bajo condiciones de Isla de Calor Urbano, es que tiene un indicador muy bajo de área verde por habitante, lo que se agudiza por la densidad de construcción en el área urbana consolidada, en la periferia y en los corredores de movilidad; es decir, el patrón espacial de la ciudad de Culiacán, con baja densidad, con exceso de vehículos circulando y con zonas carentes de sombras, sea con árboles o inducidas por aleros o pórticos en los edificios, afectan a la intensidad general del efecto de isla térmica (Think Hazard, 2020).

A las condiciones anteriores, se agregan las propiedades térmicas de los materiales de construcción que se usan en Culiacán (predominantemente tabique y concreto armado), junto con la tecnología tradicional de pavimentos en calles (asfaltos y concreto) y la disposición espacial de los usos del suelo y las áreas construidas, caracterizadas por la dispersión y lejanía de funciones urbanas (ej. la vivienda del empleo, de la educación y de la salud), dan lugar al efecto de **isla térmica urbana**, que se caracteriza por una mayor temperatura general del aire y de la superficie en lugares específicos de la zona urbanizada, en comparación con sus alrededores rurales.

Este fenómeno es particularmente notorio durante la noche, en la que puede tener temperaturas 7-8°C más cálidas en las áreas urbanizadas más densas que las de las zonas rurales contiguas (Think Hazard, 2020).

El calor repercute negativamente en el funcionamiento de diversas infraestructuras; son varios los efectos en los pavimentos (hundimiento, ondulamiento); igualmente, los componentes críticos de la infraestructura eléctrica, como los transformadores, tienen descomposturas cuando se instalan a menos de 10 metros de altura en sitios con temperaturas extremas (Think Hazard, 2020). Otros tipos de áreas construidas, como las industriales o zonas portuarias amplias, también pueden presentar un efecto de isla térmica pronunciado, derivado de los procesos de producción y/o de la intensa actividad de vehículos en su entorno.

5.5 Consecuencias en la Economía

Las constantes variaciones climáticas (temperatura y precipitación) generan efectos adversos en el crecimiento económico. **En México, un aumento de 1°C en la temperatura media podría reducir el PIB per cápita en un rango de -0.77 y -1.76%**, para los 32 estados de la república, con heterogeneidad en las entidades acorde a las condiciones locales (Sánchez, 2021).

Desde 2013 (Gómez, 2013) en el estudio titulado: “Impacto económico ocasionado por las altas temperaturas en las familias de Ciudad Obregón Sonora, México”, a través de un proceso de encuestas, se detectó que la variable que más afectaba a la población era el acceso y costo de la energía eléctrica, porque es significativo el consumo extra que se le destina por utilizar aparatos eléctricos como aires acondicionados, abanicos, refrigeradores, entre otros.

En las actividades comerciales, los efectos del calor extremo impactan en los hábitos de consumo de la población, por ejemplo, en el incremento en la demanda de productos fríos y búsqueda de comercios con ambientes climatizados en busca de confort, o bien, los consumidores pueden preferir quedarse en casa, lo que reduce el tráfico de clientes en tiendas y restaurantes, afectando las ventas.

La economía es uno de los factores que más afectados se ve durante estas rachas de calor extremo, las **familias y las unidades económicas tienden a aumentar sus gastos por uso de electricidad**, y las empresas, pueden enfrentar diversas consecuencias como el aumento del desgaste de equipos, lo que puede resultar en mayores costos de mantenimiento y reparaciones; necesidad de ajustar su inventario y sus estrategias de marketing para adaptarse a los cambios en las preferencias de los consumidores; necesidad de ajustar sus horarios de operación para evitar las horas más calurosas del día, lo que puede afectar la disponibilidad de productos y servicios para los consumidores; cancelación o reprogramación de eventos al aire libre, ferias y mercados, afectando las oportunidades de venta y promoción para las empresas, etc.

En este panorama, las pequeñas y medianas empresas son más vulnerables a los efectos del calor extremo, ya que pueden carecer de los recursos financieros para adaptarse a las condiciones climáticas adversas.

Box 13. Costos económicos por efecto del cambio climático en México

Bajo un escenario de inacción, los retos del cambio climático para México serían enormes.

- Los costos acumulados durante este siglo serían comparables a perder entre el 50% y hasta más de 2 veces el PIB actual de México (sin considerar UHI).
- En la segunda parte del siglo, la mayor parte de México tendría pérdidas anuales iguales o mayores a 5% del PIB local por cambio climático.
- Aumentos mayores a 4°C en la temperatura anual podrían alcanzarse durante la década de 2070 en partes de México. Los ecosistemas difícilmente podrían adaptarse a este cambio.
- **La confluencia de riesgos y la alta exposición hacen que algunas regiones sean particularmente susceptibles al cambio climático.**
- En grandes ciudades el cambio climático local (UHI) podría exacerbar los efectos negativos del cambio climático global.
- Los impactos conjuntos de cambio climático local y global, podrían representar entre 1 y 3 veces el PIB actual, y hasta 4.5 veces.
- Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey: pérdidas por cambio climático podrían rebasar mil millones de dólares en la década del 2020.

Fuente: Estrada Porrúa, F., 2019: láminas 16 y 17.

VI. Programas oficiales existentes en el municipio

Tabla 19. Culiacán, Sinaloa. Programas oficiales existentes asociados al calor extremo

Programa	Descripción	Link
Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Culiacán (2021)	El Programa impulsa el carácter de la territorialidad, al considerar la vocación, desarrollo y resiliencia de sus asentamientos, así como sus condiciones físicas naturales, para garantizar un desarrollo sustentable de la región y de sus ciudades.	https://IMPLANculiacan.mx/descargas/planes/PMOTyDUC_2021/DOCUMENTO/PMOTyDUC%202021.pdf

Programa	Descripción	Link
Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Culiacán (2021)	Tiene como objetivo principal planear la ocupación de la ciudad mediante una instrumentación que garantice atender las necesidades que requieren todos los actores que participan en el desarrollo urbano del centro de población.	https://IMPLANculiacan.mx/descargas/planes/PDUCPC_2021/01%20DOCUMENTO/PDUCPC%202021.pdf
Sistema de Atlas de Peligros y/o Riesgos del municipio de Culiacán, Sinaloa Consultoría	Es un instrumento que emite un diagnóstico de riesgos y vulnerabilidades del municipio, capaz de ubicar e identificar el tipo y grado de riesgos existentes de acuerdo con el origen natural o antropogénico de los mismos, a escala local.	https://docs.culiacan.gob.mx/s/2A2nxwtHL5nZ6Bc

Fuente: Centro Eure a partir de la consulta de dichos programas.

VII. Instrumentos de política pública para reducir el calor extremo e islas de calor y para ejecutar las estrategias y los proyectos prioritarios

El municipio enfrenta un escenario climático que muestra tendencias preocupantes según las predicciones a corto plazo. Como ya se ha detallado antes, se han identificado los siguientes peligros para Culiacán: sequía, lluvias extremas, inundaciones pluviales y fluviales, olas de calor, vientos fuertes e incendios forestales. Cada uno de estos peligros, exige de estrategias, proyectos e instrumentos concretos, para enfrentar los fenómenos de calor extremo, a la vez que, para prevenir y mitigar sus consecuencias.

95

7.1 Instrumentos de política pública

Diversos programas municipales reconocen la problemática y proponen diversos instrumentos de política pública. De acuerdo con el Programa de Acción Climática Municipal de Culiacán (IMPLAN, 2016), el municipio se ve afectado por las ondas de calor en diversos sectores.

Por su parte, el Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Culiacán (IMPLAN, 2021a), establece una serie de acciones concretas para cada una de las estrategias y sub estrategias definidas en el programa, a fin de promover el adecuado desarrollo del municipio. Se recomienda una serie de acciones complementarias, que permitirán dar un enfoque de sustentabilidad y contribuyan a que el municipio enfrente de mejor manera los retos que implica el incremento de la temperatura y sus consecuencias. Para ello, define áreas de protección y conservación ecológica que incluyen la elaboración del Plan de Manejo Integral del Parque las Riberas de los ríos Humaya, Tamazula y Culiacán y de la Isla de Orabá; la ampliación del Parque Las Riberas; la recuperación del Río Culiacán y la protección de la Sierra de las 7 Gotas.

7.2 Propuesta de acciones complementarias a las políticas públicas

Las acciones consignadas en los planes y programas ya citados deberán complementarse con otras que permitan orientar el desarrollo del municipio con un claro enfoque de sustentabilidad, al mismo tiempo que se impulsa su

desarrollo económico y social. A continuación, se describen estas propuestas de acciones complementarias.

Consideraciones, combinadas con el entendimiento del sistema económico y las actividades principales de la población, proporcionan un enfoque integral que respalda la creación de soluciones adaptativas y sostenibles para enfrentar los impactos del cambio climático en la ciudad.

Es de suma importancia generar acciones que mitiguen el efecto de isla de calor en las zonas urbanas como son: incrementar las zonas con vegetación nativa, reducir la tala de árboles en la región, acciones de eficiencia energética como los son techos reflectantes, aprovechamiento de la incidencia solar a través de paneles y calentadores solares, reducir la contaminación atmosférica, cuidar los cuerpos de agua del municipio, etc.

Restaurar, conservar, reforestar y conectar el suelo de conservación, las áreas naturales protegidas, las áreas de valor ambiental y las áreas verdes urbanas para proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Todo ello, con enfoque de cambio climático.

Implica para el municipio atender y revertir los procesos de deterioro por medio de acciones de conservación, restauración, reforestación del suelo de conservación, de las áreas naturales protegidas y de las áreas de valor ambiental, tomando en cuenta atender los cambios en temperatura y precipitación generados por el cambio climático y atendiendo las medidas de mitigación a las olas de calor y de isla de calor. Es fundamental involucrar a la sociedad para crear una mayor cohesión y una respuesta corresponsable ante el cambio climático.

Mejorar el manejo de estas áreas permitirá aumentar su resiliencia, reducir los efectos de la isla de calor urbana e incrementar el potencial de mitigación de emisiones a través del almacenamiento de carbono.

Para combatir los efectos de la disminución de la densidad arbórea en la formación de las ICU, es esencial fomentar la plantación y el mantenimiento de árboles y áreas verdes en áreas urbanas. Una medida implementada por el colectivo Guaiacum en coordinación con el Gobierno Municipal es a través de la Guía de Arbolado Urbano que tiene como objetivo educar e instruir a la ciudadanía sobre la arborización de la mancha urbana de Culiacán y el manejo de especies florales endémicas, también pretende generar una cultura del árbol que permita brindar alternativas para reducir los impactos negativos que genera la ciudad sobre el ambiente y la calidad de vida.

La fortaleza de la **economía agropecuaria y pesquera, la actividad del valle agrícola** tiene una gran superficie de riego y una agricultura de alto valor agregado que es necesario cuidar e beneficio del desarrollo económico de la población.

Fomentar y fortalecer los sistemas agroalimentarios sustentables y resilientes. Implica recuperar la actividad agrícola, impulsar prácticas productivas sostenibles, resilientes; reconocer, recuperar y difundir el conocimiento tradicional de la biodiversidad y las prácticas agroecológicas; y fortalecer la capacidad de las comunidades agropecuarias, establecer cadenas cortas de mercado, lo que contribuirá a disminuir los impactos del cambio

climático en el sector agrícola y a detener y revertir el deterioro, restaurar y reactivar los paisajes rurales y mejorar la calidad de vida de las y los habitantes del suelo de conservación del municipio y de la ciudad.

Revegetar las zonas urbanas y recuperar áreas verdes a través de la promoción de infraestructura verde y azul y sus beneficios. Para avanzar en la solución a esos problemas, es necesario que el municipio desarrolle un sistema de infraestructura verde como una red planificada e interconectada de espacios verdes y azules; diseñada y administrada para ofrecer múltiples beneficios socioambientales que protejan la biodiversidad, mejoren los servicios ecosistémicos, y prevengan y mitiguen riesgos, bajo un enfoque de adaptación basada en ecosistemas.

La Isla de Orabá con categoría de Parque Urbano de Preservación Ecológica de Centro de Población, ubicada dentro de Las Riberas, la Isla Orabá, única área natural protegida bajo control municipal requiere de atención en un plan integrado, a fin de cuidar su riqueza de vegetación y fauna, incluyendo las Áreas Naturales Protegidas Sierra de Las 7 Gotas, Cerro de El Tule, Cerro La Guásima y Cerro La Pitahaya.

El sistema de infraestructura verde servirá como estrategia de planeación territorial que reconcilie el desarrollo urbano, la protección ambiental y el crecimiento económico. Un sistema de infraestructura verde de esta naturaleza permite la disminución de inundaciones, el control de escorrentías y manejo de drenajes, el aumento y mejoramiento de espacios públicos verdes, la creación de empleos verdes y el aumento del valor económico de bienes inmuebles, lo que se traduce en una mejor calidad de vida para las personas. El sistema de infraestructura verde se basa en cuatro principios para su diseño y construcción:

1. Mejorar la conectividad ecológica entre los espacios verdes y azules de la ciudad, tanto urbanos como otros espacios verdes dentro de ella;
2. Optimizar el grado de acceso que tiene la población a los espacios verdes o conjuntos de ellos, a través de las vialidades, la presencia y la distribución de medios de transporte masivo, y la presencia de distribución de rutas de transporte público;
3. Cumplir con las necesidades que la población demanda para su uso y disfrute adecuado.
4. Ser desarrollada bajo un enfoque de resiliencia.

La infraestructura verde dentro del municipio debe mejorar la conectividad ecológica con el establecimiento de corredores biológicos y cinturones verdes. Para la revegetación, deben priorizarse especies vegetales nativas con el propósito de potenciar los beneficios ecosistémicos y proveer de hábitat a la biodiversidad, particularmente para el grupo de polinizadores. Mantener, conservar, restaurar y manejar integralmente el sistema hidrológico del municipio a nivel cuenca y subcuenca, asegurar el balance hídrico y promover el uso sustentable del agua, que permita proveer agua suficiente y de calidad para todas las personas y proteger la biodiversidad.

Figura 12. Infraestructura verde - azul



Fuente: Obtenido de <https://www.businessconexion.info/2024/05/09/infraestructura-verde-una-inversion-estrategica-para-la-resiliencia-climatica/>

Uso de procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales. Es fundamental el uso de procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales, a fin de poder utilizar el biogás producido en la generación de energía eléctrica que permita abastecer los requerimientos eléctricos de las instalaciones de tratamiento.

Figura 13. Proceso anaerobio para el tratamiento de aguas residuales



Fuente: Obtenido de <https://aguasigma.com/procesos/anaerobio-ranc/>

Mejorar el sistema de suministro de agua en cantidad y calidad. Es indispensable contribuir a garantizar el derecho humano al agua, asegurando el acceso suficiente, salubre y asequible a este líquido, por medio de la sectorización, mantenimiento, modernización y ampliación de la red de distribución; la detección y la reparación de fugas del sistema; la evaluación para el desarrollo de nuevos medios de abastecimiento; la cosecha de agua de lluvia para uso directo en actividades domésticas, comerciales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro uso; y el desarrollo de una cultura de uso responsable del recurso hídrico. La participación ciudadana y comunitaria, particularmente de las personas con menor acceso al agua, la educación ambiental y la coordinación y concertación interdependencial, con la academia y las organizaciones de la sociedad civil serán clave para la puesta en marcha de estas medidas.

Reducir los riesgos hídricos asociados al cambio climático. Las medidas de conservación y restauración ecológica permitirán reducir la vulnerabilidad ante los eventos extremos, mitigar los efectos de la isla de calor urbana y, por ende, los impactos negativos en la salud, y contribuir a la mitigación de emisiones y la captura de carbono. El municipio requiere, además, reformular paulatinamente la lógica de diseño de la infraestructura de drenaje. Tradicionalmente esta infraestructura se ha colocado en las zonas de arroyos y ríos por ser las más bajas. Sin embargo, esto provocó que los ríos se convirtieran, hace varias décadas, en los desagües de aguas negras perdiendo la riqueza e incluso la capacidad de control de las aguas de la ciudad. Este cambio tendrá que hacerse paulatinamente para sustituir progresivamente la ubicación de este tipo de infraestructura.

Promover la recarga y uso sustentable del acuífero y restaurar y conservar las cuencas hidrológicas, los ríos y cuerpos de agua. Debe ser prioridad de la política climática del municipio, la gestión sustentable del recurso hídrico por medio de planes de manejo integral a nivel cuenca, subcuenca y microcuenca, que incluyan acciones de conservación, revegetación y restauración de los suelos y los ecosistemas, mejorando la conectividad eco hidrológica, además de criterios de justicia social y reducción de la vulnerabilidad ambiental, en un marco de derechos humanos. Asimismo, se fomentará y fortalecerá el mantenimiento, conservación, manejo integral y, en su caso, recuperación y saneamiento del sistema hidrológico.

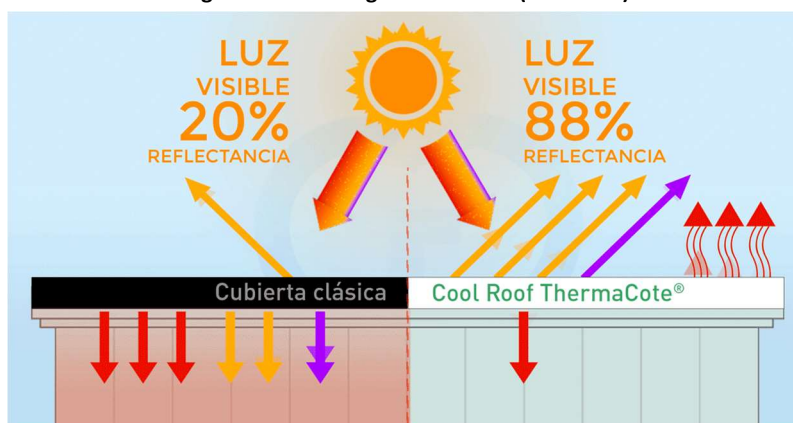
Desarrollo urbano bajo en carbono. Planear y ejecutar acciones que minimicen las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero y de contaminantes locales, en vivienda, comercio e industria y servicios, al mismo tiempo que se promueve el bienestar de la población, se generan ahorros económicos y se promueve la competitividad de las empresas.

En los últimos años se han desarrollado nuevos materiales que a priori parece que puedan ofrecer mejoras en la eficiencia energética de la edificación de manera pasiva. Entre estos nuevos materiales han cobrado relevancia los dispositivos cromogénicos que permiten cambiar sus propiedades ópticas de manera reversible mediante algún estímulo externo. El acabado superficial de las envolventes puede presentar diferentes texturas y/o colores, que determinan la cantidad de radiación solar absorbida por el material respecto a la radiación incidente (Masip-Vilà, 2019).

Específicamente refiriéndonos a las pinturas, una de las mayores ventajas en el uso de estas de manera reflejante en las edificaciones, es que tienen un alto índice de albedo, es decir, la proporción existente entre la energía luminosa que incide en una superficie y la que está refleja. Gracias a ello, el calor en el interior de las viviendas disminuye y mejora el ahorro energético (Navarro, 2017).

La tecnología “Cool roof” techo frío, investiga y aplica materiales de alto índice de reflectancia solar (SRI). Esta reduce el consumo de energía en los edificios, aumenta la vida útil de la impermeabilización de las cubiertas ya que la superficie pintada protege los materiales del calor y los rayos solares y por lo tanto ahorro en el costo de mantenimiento y por último, reduce el efecto “isla de calor” de las ciudades (Navarro, 2017).

Figura 14. Tecnología “Cool roof” (techo frío)



Fuente: Obtenido de <https://www.clevergreen.es/techo-frio-cool-roof/>

Diseño de incentivos y de gravámenes con enfoque de sostenibilidad. Crear los incentivos por Ley que permitan a las organizaciones, empresas y en general a las personas aplicarlos en las construcciones y/o renovaciones de todo tipo de edificios e instalaciones con ecotecnologías pasivas. En el mismo sentido, desarrollar por Ley e incluir un conjunto de gravámenes municipales aplicables a quienes no incluyan en construcciones nuevas o remodelaciones de vivienda y edificaciones e instalaciones de todo tipo, acciones de ecotecnologías pasivas, que permitan obtener niveles de confort térmico adecuadas, como las señaladas en el párrafo anterior.

Se deberán diseñar las normas, los incentivos y los gravámenes que permitan aplicar Coeficientes de Ocupación del Suelo (COS) a las construcciones, para que incluyan un porcentaje mínimo -por definir- libre de construcción, con arborización y superficies verdes que permitan la infiltración de agua de lluvia. Además, incluir incentivos fiscales -por definir- para incentivar a quienes cumplan con una selección de estas ecotecnologías. Quedaría por establecer el nivel de gravamen y exigencia de consideraciones de diseño bioclimático en función del tipo de edificación o instalación, el uso del suelo y las densidades permitidas; en el caso de la vivienda, lo anterior dependerá de que se trate de vivienda familiar o plurifamiliar, de diversos estratos económica y para venta o renta, entre otras consideraciones.

De la mayor importancia será la determinación -estatal y/o municipal- para incentivar o gravar, por el consumo sostenible de agua y por la aplicación de ecotecnologías a las actividades agrícolas y ganaderas por ser las que consumen los mayores volúmenes de agua. El objetivo es impulsar las mejores prácticas, sobre todo, para el aprovechamiento eficiente del agua.

Vivienda eficiente y resiliente al cambio climático. Los materiales y artículos para equipamiento de casa habitación y otros edificios para ventas al menudeo a precios con descuentos significativos, ya propuestos en el Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Culiacán (IMPLAN, 2021a), cumplan con normas de eficiencia energética, dando prioridad a las medidas pasivas como son: alerones, orientación de los edificios, aislamiento térmico, películas de control solar en puertas y ventanas, acabados reflectivos particularmente en azoteas, vidrios de control solar, diseños que reduzcan la exposición directa a los rayos

del sol (aleros, pórticos, etc.) y que permitan circulación de aire y ventilación natural, azoteas con terminados aislantes y de colores claros y servicios de aire acondicionado con fuentes de energía “limpia”, sistemas de captación de agua de lluvia, impermeabilización y acabados de azoteas con colores claros, techos verdes, etc.

Promoción de las energías renovables y la eficiencia energética. Mediante alianzas con instituciones nacionales (Fideicomiso para el Ahorro de la Energía) e internacionales, así como empresas privadas, a fin de que sea a costo cero para el municipio, impulsar programas de eficiencia energética, de calentamiento solar de agua y de generación fotovoltaica en vivienda, comercio, servicios e industria. Se deberá hacer énfasis en proyectos llave en mano financiados en esquemas de pago por desempeño y Empresas de Servicios Energéticos (ESCOS, por sus siglas en inglés), a fin de evitar el desembolso de la inversión inicial y que los proyectos se paguen con una parte de los ahorros generados.

Hacer alianzas con instituciones de dedicadas al diseño de vivienda a fin de poner a disposición de la población, diseños de vivienda bioclimático, que bajo condiciones de calor extremo resultan poco eficaces, requiriendo aislamientos adicionales en muros, puertas y ventanas, diseños que reduzcan la exposición directa a los rayos del sol (aleros, pórticos, etc.) y que permitan circulación de aire y ventilación natural, azoteas con terminados aislantes y de colores claros y servicios de aire acondicionado pasivos.

Movilidad Amigable. Planear y ejecutar estratégicamente la acción climática para maximizar los beneficios ambientales y sociales al mitigar las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero y de contaminantes criterio.

La elección de materiales para pavimentar calles, así como las características y materiales utilizados en las viviendas, ofrecen oportunidades estratégicas para implementar soluciones que reduzcan la absorción y retención de calor. La consideración de prácticas urbanas sostenibles, como pavimentos reflectantes y áreas verdes integradas en el diseño urbano, puede ser fundamental para atenuar el impacto del calor extremo y mejorar la calidad de vida de los residentes.

Figura 15. Electromovilidad del transporte público



Fuente: Obtenido de <https://energiahoy.com/2022/09/09/celebran-el-dia-mundial-del-vehiculo-electrico/>

Desarrollo de vialidades de menor temperatura. Dado que 22% de las vialidades se encuentra sin pavimentar, principalmente en los sectores Díaz Ordaz y Abastos al sur y Mirador Tamazula al norte se deben cubrir con “pavimentos fríos” y vegetación nativa en banquetas y camellones que permita el sombreado. Esta misma acción se debe ejecutar paulatinamente en las vialidades ya pavimentadas, de acuerdo con el plan municipal de mantenimiento de pavimentos, banquetas y vialidades.

Dado que el transporte público es altamente deficiente, es urgente la creación de un sistema estructurado de transporte que permita brindar un servicio adecuado ante escenarios drásticos de incrementos de temperatura y lluvia. Es necesario transitar del esquema actual de permisionarios a uno de transporte estructurado, con empresas de servicio establecidas, con planes de mantenimiento y de sustitución de unidades obsoletas, así como horarios de servicio bien establecidos. Estas empresas estarían bajo la tutela de un organismo regulador. Las empresas contarían con planes de mantenimiento y sustitución de vehículos. Esto permitiría que las empresas cuenten con la solvencia económica necesaria para contar con los medios para brindar un servicio adecuado en situación de calor intenso o lluvia extrema. Al mismo tiempo devolvería al municipio la capacidad de regular de manera integral al sector.

Diseñar y ejecutar acciones conjuntas para maximizar sinergias entre cambio climático, calidad del aire y salud. La evidencia científica ha demostrado que el aumento de la temperatura favorece la formación de ozono (O_3) y partículas $PM_{2.5}$, y los cambios en los patrones de precipitación, humedad y circulación de los vientos tienen impactos en la formación, dispersión, comportamiento y remoción de los contaminantes en la atmósfera.

Las afectaciones a la salud de las personas son diferenciadas, al estar determinadas por el tiempo que están expuestas a contaminantes, vinculado con sus patrones de conducta y los microambientes en los que se desenvuelven, las personas más vulnerables son las niñas y los niños, las personas mayores y las personas con enfermedades crónicas. Por ejemplo, las personas de estratos bajos y las mujeres están más expuestas a la contaminación atmosférica en la calle y el transporte, al invertir mayor tiempo en sus traslados y al realizar mayor cantidad de viajes debido a los motivos de cuidado, respectivamente.

Esto incluye estrategias integrales en donde se promueven y armonizan: transporte estructurado, movilidad no motorizada; zonas exclusivas para mujeres y tercera edad en el transporte público; horarios para carga y descarga en zonas congestionadas; horarios y vías establecidas para el transporte de carga. Los esfuerzos por mitigar las emisiones de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero y reducir los impactos adversos del cambio climático conlleva beneficios para mejorar la calidad del aire en el corto plazo, y viceversa, las estrategias para reducir la contaminación atmosférica generan co beneficios en la acción climática local y nacional en el mediano y largo plazo.

Educación ambiental e investigación sobre cambio climático. Planear y ejecutar estratégicamente acciones de educación ambiental y la investigación, que al mismo tiempo maximicen los beneficios ambientales y sociales; se promuevan la cohesión social y se fortalecen las alianzas del gobierno municipal con los sectores más activos de la sociedad, incluidas asociaciones ciudadanas, organizaciones de la sociedad civil, universidades y centros de investigación.

Fomentar y consolidar la investigación sobre cambio climático. El trabajo conjunto entre academia, centros de investigación, el gobierno municipal y otras partes interesadas, permitirá fortalecer la investigación y la identificación y generación de conocimientos en la materia para el diseño de proyectos transdisciplinarios y políticas públicas, generar los mecanismos de enseñanza para promover aprendizaje innovador y efectivo, y aportar herramientas para la capacitación y formación para la acción climática y particularmente para prevenir, mitigar, adaptar y atender sus consecuencias como el calor extremo.

Las alianzas estratégicas facilitarán la vinculación entre los conocimientos prácticos, técnicos, científicos y tecnológicos y los procesos de formulación de políticas públicas, y contribuirán a fortalecer los mecanismos de asesoramiento transversal, formación e intercambio de experiencias e ideas y el desarrollo conjunto de información para enriquecer los procesos de toma de decisiones y de investigación.

Por otro lado, las campañas de difusión, actividades culturales y otros mecanismos de educación no formal que se han llevado a cabo en la ciudad y el país sobre el cambio climático sientan las bases para desarrollar estrategias de educación y sensibilización más ambiciosas que comprendan la difusión de información accesible y actualizada, las prácticas y experiencias vivenciales, actividades extracurriculares, fomento del arte y eventos culturales, eventos deportivos y otras formas de aprendizaje innovadoras con la sociedad.

Fomentar y consolidar la educación ambiental y la investigación sobre el cambio climático. Es crucial impulsar una agenda de investigación conjunta que genere conocimiento público para maximizar los beneficios de la acción climática y de la gestión de la calidad del aire, con sus respectivos cobeneficios en la mejora de la salud de las personas y la reducción de la vulnerabilidad asociada a problemas ambientales. Contar con información confiable, actualizada y con bases científicas sobre el estado de la relación entre el cambio climático y la calidad del aire, así como con medios y herramientas compartidas para la implementación de políticas en la materia, contribuirá a impulsar una gestión más transversal y coordinada en todos los niveles de gobierno y sectores de la sociedad.

Impulso de patrones de producción y consumo sustentables. Deberán desarrollarse estrategias específicas de comunicación, difusión de información y sensibilización de la población que reflejen las necesidades de cada uno de los Ejes de acción climática de la presente Estrategia. El desarrollo de estas medidas deberá hacer uso de los mecanismos de acceso a información más efectivos y con mayor alcance para la mayoría de la población; tecnologías de la información y comunicación, espacios públicos y formas accesibles e incluyentes de difusión de información, así como alianzas estratégicas con los medios de comunicación, las organizaciones de la sociedad civil y otros actores comunitarios, considerando mecanismos diferenciados por edades, género, sectores y contextos de interlocución, entre otras.

El cambio climático debe ser enfrentado como un tema que nos compete a todas las personas y sectores de la sociedad. Este fenómeno se presenta como una oportunidad para crear sociedades mejor organizadas, más activas, informadas y participativas en el diseño, la ejecución y vigilancia de la política climática.

Fortalecer la capacidad adaptativa del municipio y sus comunidades mejorando la prevención y respuesta territorial ante los impactos climáticos, haciendo énfasis en que cada año estos serán más intensos y recurrentes.

Impulsar un ordenamiento territorial incluyente y equitativo hacia una ciudad sustentable y resiliente. Regular de manera eficiente, ordenada, consensada y con visión de futuro y equidad al mercado de suelo y la construcción, será indispensable garantizar la inclusión de criterios de cambio climático y resiliencia en los reglamentos de construcción, normas técnicas y procesos administrativos que garanticen el derecho a la vivienda y fortalecer los mecanismos de vigilancia y rendición de cuentas vinculados al uso justo y equitativo del territorio,

El ordenamiento territorial deberá generar sinergias y contribuir al cumplimiento de otros objetivos. Por ejemplo, mediante la planeación de la movilidad urbana sustentable y la consolidación de un sistema de movilidad pública integrada; la innovación tecnológica, el uso de ecotecnias y la transición energética en las construcciones; la prevención y gestión adecuada de los residuos de la construcción; la seguridad hídrica mediante la conservación, protección y recuperación de las zonas de recarga de los acuíferos y los cuerpos de agua; la recuperación del espacio público y el uso de infraestructura verde; la promoción de prácticas agroecológicas y la prevención de riesgos de desastres.

La coordinación institucional y la participación, especialmente de las personas en situación de vulnerabilidad y los grupos prioritarios, serán condiciones necesarias para asegurar una política de ordenamiento territorial integral y coherente entre todos los sectores. La participación ciudadana y comunitaria en todas las etapas del proceso de planeación territorial será indispensable para identificar las necesidades y prioridades del uso del suelo y promover el rol de la población como vigilante de los programas y proyectos con incidencia en el territorio.

Desarrollar una estrategia ante riesgos, impactos y vulnerabilidades al cambio climático a través de la implementación de sistemas de alerta temprana y protocolos de prevención y acción frente a peligros epidemiológicos, hidrometeorológicos y climáticos. Es fundamental fortalecer las capacidades para el uso de sistemas de información geográfica como herramientas de planeación, gestión de riesgos y resiliencia para definir acciones locales de adaptación para cada demarcación del territorio del municipio. Estos sistemas contribuirán a comunicar los cambios de manera espacial y visual. Será necesario fortalecer el conocimiento territorial, como la apropiación y la gestión territorial por parte de las y los habitantes, lo que favorece la resiliencia de la comunidad al conocer su entorno, prever y generar capacidad de respuesta. Esto se puede desarrollar, por ejemplo, a través de planeación comunitaria y participativa, estrategias digitales y sistemas de información local.

Adoptar y transversalizar los principios de capacidad adaptativa y resiliencia. Es prioritaria la gestión integral de riesgos. Para generar la cultura de la gestión integral de riesgo es indispensable la incorporación de los principios de resiliencia y capacidad adaptativa en los instrumentos de planeación, en el marco normativo, las inversiones, los proyectos estratégicos y los sectores económicos. Ello permitirá, a su vez, identificar los riesgos a los que están expuestos y desarrollar políticas públicas para atenderlos. Adicionalmente, es esencial fortalecer las capacidades adaptativas de las instituciones, el sector público y la población, por medio de estrategias efectivas de comunicación, educación y participación, con especial atención en los grupos prioritarios y las personas en mayor situación de vulnerabilidad. La colaboración entre gobierno, academia, sector privado y sociedad permitirá el desarrollo de medidas de adaptación que aseguren la resiliencia.

Las empresas deben jugar un papel fundamental en este todo este quehacer. Gran parte de los corporativos nacionales e internacionales tienen mandato de sus oficinas centrales respecto a la responsabilidad social y ambiental, actuando como aliadas se puede potenciar el alcance y la presencia del municipio.

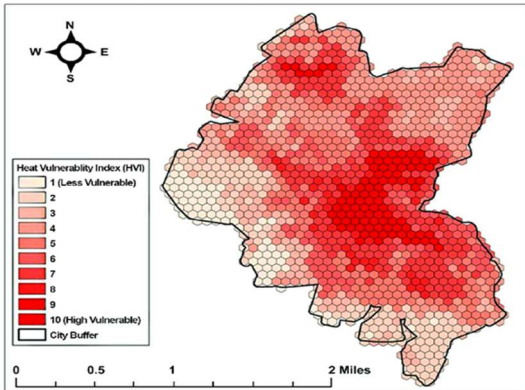
El cambio climático debe ser enfrentado como un tema que nos compete a todas las personas y sectores de la sociedad. Este fenómeno se presenta como una oportunidad para crear sociedades mejor organizadas, más activas, informadas y participativas en el diseño, la ejecución y vigilancia de la política climática.

7.3 Soluciones para enfrentar el calor extremo en Culiacán basadas en mejores prácticas internacionales

Atlas de Vulnerabilidad al Calor Extremo. Integrar la información, los análisis y las propuestas para la prevención, la mitigación y la adaptación de la población y de las actividades sociales y económicas a los impactos del calor extremo y en general a los provocados por el cambio climático, es fundamental; el Atlas de Vulnerabilidad

al Calor Extremo es un instrumento central para ello. Debe asociarse y alinearse con el resto de los instrumentos de planeación municipal (y regional o metropolitano) relativos al ordenamiento territorial y al desarrollo urbano, al ordenamiento ecológico del territorio y al atlas de riesgo, entre otros.

Mejor Práctica de Amiens, Francia:



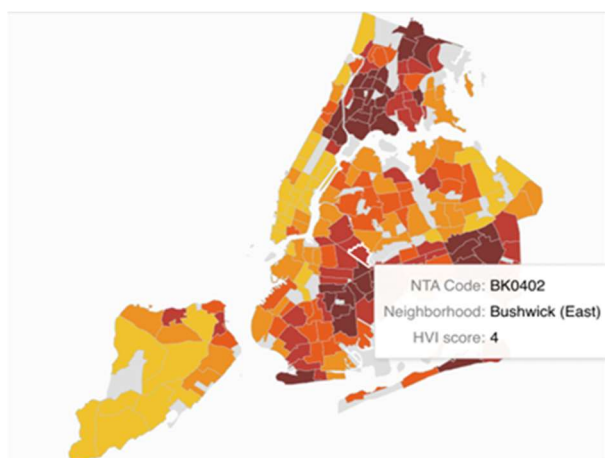
Fuente: Qureshi, Aiman Mazhar & Rachid, Ahmed. (2022).
Heat Vulnerability Index Mapping: A Case Study of a
Medium-Sized City (Amiens). Climate. 10. 113.
10.3390/cli10080113.

La urbanización, las actividades antropogénicas y determinantes sociales como la pobreza y la tasa de alfabetización contribuyen en gran medida a las mortalidades relacionadas con el calor. La fuerte ola de calor de 2003 (Lucifer) en Francia tuvo consecuencias catastróficas para la salud en la región. Amiens es una ciudad mediana, donde la temperatura promedio ha aumentado desde el año 2000. En Amiens se evaluó el Índice de Vulnerabilidad al Calor (HVI por sus siglas en inglés) para los días de calor extremo registrados durante tres años (2018-2020), siendo el 1 el valor de menor riesgo y 10 el de mayor riesgo. Los principales tipos de datos considerados incluyeron (a) datos socioeconómicos y demográficos, (b) contaminación del aire, (c) uso y cobertura del suelo, (d) enfermedades de las personas de la tercera edad por calor, (e) vulnerabilidad social y (f) datos de teledetección (temperatura de la superficie terrestre, elevación media, índice de vegetación diferenciado normalizado e índice de agua diferenciado normalizado). Los mapas resultantes identificaron las zonas más calientes mediante un análisis SIG (Sistema de Información Geográfica exhaustivo). Los mapas resultantes mostraron que existe un HVI alto en tres áreas: (1) áreas con densa población y poca vegetación, (2) áreas con superficies artificiales (áreas urbanizadas) y (3) zonas industriales. Las áreas con un bajo HVI se encuentran en paisajes naturales como ríos y pastizales.

La implementación del mapeo de vulnerabilidad al calor extremo permite a la ciudad identificar los vecindarios con mayor riesgo, enviar recursos hacia donde más se requiere, desarrollar políticas y programas de protección a nivel de vecindario, e informar a la ciudadanía

106

Mejor Práctica de Nueva York, Estados Unidos



La ciudad de Nueva York tiene un Índice de Vulnerabilidad al Calor (HVI) interactivo, donde la ciudadanía a través de una página web puede ver el HVI de su vecindario. El HVI muestra los vecindarios cuyos residentes tienen mayor riesgo de morir durante e inmediatamente después de una ola de calor. Utiliza un modelo estadístico para resumir los factores sociales y ambientales más importantes que contribuyen al riesgo de calor extremo en los vecindarios. Los factores incluidos en el HVI son la temperatura de la superficie, los espacios verdes, el acceso al aire acondicionado en el hogar y el porcentaje de residentes de bajos ingresos o minorías raciales. Los vecindarios se califican del 1 (riesgo más bajo) al 5 (riesgo más alto). Todos los vecindarios tienen residentes en riesgo de sufrir enfermedades por calor y morir. Un barrio con baja vulnerabilidad no significa que tenga riesgo

Fuente: Environment and Health Data Portal. NYC.gov

Información sobre salud. El calor extremo mata a centenares de personas cada año y los expertos afirman que el número de muertes está desestimado, ya que los récords médicos no reflejan el número real de vidas perdidas a causa del calor. David S. Jones, un médico e historiador de la Universidad de Harvard, afirma que reportar sobre la causa de muerte de una persona siempre ha sido “un proceso complicado”.

Un forense o médico forense debe enumerar una única causa de muerte y, en algunos lugares, esos funcionarios son designados políticos que pueden no tener ningún tipo de experiencia médica (CNN, 2023).

Los registros de mortalidad tienden a descuidar otras causas de muerte potencialmente relacionadas con el calor, como los ataques cardíacos, enfermedad renal terminal, entre otras. Por este motivo, es importante capacitar al personal y establecer normas de notificación y estándares para garantizar que se contabilicen las muertes relacionadas con el calor, de esta manera la ciudad podrá tener data actualizada que ayudará a tomar las medidas adecuadas para salvaguardar vidas.

Mejor Práctica de España	
	Mortalidad Atribuible verano por Calor en España En octubre de 2023, se lanzó la aplicación móvil “Mortalidad Atribuible por Calor en España (MACE)”, esta proporciona datos de mortalidad respecto a la temperatura de los últimos cinco años y calcula la mortalidad durante el verano. La aplicación es producto del trabajo de un grupo de científicos del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, la Universidad de Valencia y la Fundación para la Investigación del Clima y utiliza datos oficiales del sistema de Monitorización de la Mortalidad Diaria (MOMO) y de temperaturas registradas por la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet) para calcular la mortalidad atribuible al calor moderado, el calor extremo y el calor excesivo de los meses de junio a agosto en España. Esta herramienta transfiere el conocimiento científico para conocer el potencial impacto del calor sobre la salud humana. “Si los ciudadanos fueran conscientes, además, del impacto del calor extremo sobre la salud, esta aplicación podría favorecer el cambio de comportamientos a partir de las recomendaciones que hace el Ministerio de Sanidad en su Plan Nacional de Actuaciones Preventivas por Altas Temperaturas” (CSIC, 2023).

Jornada Laboral para Trabajadores a la intemperie. La exposición a riesgos de calor tanto al aire libre como en el interior podría provocar enfermedades graves, lesiones o la muerte. Las enfermedades y lesiones relacionadas con el calor pueden ocurrir a diferentes temperaturas ambientales, especialmente en los casos en que los trabajadores no están aclimatados, realizan actividades físicas moderadas o intensas, o utilizan ropa o equipo pesado o voluminoso, incluido el equipo de protección personal. Las enfermedades y lesiones relacionadas con el calor generalmente también ocurren cuando el calor corporal generado por el trabajo físico se realiza en condiciones de alto valor ambiental, especialmente cuando hay humedad y refrigeración inadecuada.

La exposición al calor puede provocar enfermedades y lesiones ocupacionales, especialmente para aquellas personas que trabajan al aire libre y realizan trabajos físicos. Ajustar el horario laboral puede minimizar la exposición de los trabajadores al calor durante las horas más calurosas del día y mitigar el riesgo. Además

de los ajustes de horarios, los empleadores deberían proporcionar descansos, hidratación adecuada y períodos de aclimatación para proteger a los trabajadores.

El municipio debe desarrollar una política en la cual se establezcan requisitos mínimos para que los empleadores creen reglas obligatorias sobre estrés por calor. Como ejemplo, esto puede incluir: ajustes de horarios para evitar las horas más calurosas del día, monitorear a los trabajadores para detectar signos de enfermedades relacionadas con el calor, descansos frecuentes, capacitar a los trabajadores para emergencias, proporcionar agua y sombra, entre otros. Es recomendable consultar a los empleados u otras partes interesadas afectadas durante el desarrollo de la política para una mayor efectividad.

Se deben aplicar sanciones a los empleadores que no cumplan con los requisitos mínimos. Se debe asegurar de que existan medidas de rendición de cuentas para que los empleados denuncien a sus empleadores, en el caso de ser necesario.

Mejor Práctica del Estado de California, Estados Unidos



Fuente: 99calor.org y <https://www.dir.ca.gov/title8/3395.html>

1. **Capacitación**
Capacitar a todos los empleados y supervisores sobre la prevención de enfermedades por calor.
2. **Agua**
Proporcionar suficiente agua fresca para que cada empleado pueda beber al menos 1 litro por hora, o cuatro vasos de 8 onzas, de agua por hora.
3. **Sombra**
Proporcionar acceso a sombra y recordar a los empleados que deben tomar un descanso para refrescarse en la sombra durante al menos 5 minutos cuando la temperatura sobrepase los 27 grados centígrados.
4. **Planificación**
Desarrollar e implementar procedimientos escritos para cumplir con el Estándar de Prevención de Enfermedades por Calor del Estado de California.

El Estado de California tiene una ley para la “Prevención de Enfermedades por Calor en Lugares de Trabajo al Aire Libre”. Los requisitos de prevención de enfermedades causadas por el calor se aplican a todos los trabajadores que pasan una cantidad significativa de tiempo trabajando al aire libre en agricultura, construcción, paisajismo, mantenimiento, transporte y conductores de reparto en vehículos sin aire acondicionado, entre otros. Los empleadores de California deben cumplir con estos cuatro pasos para prevenir enfermedades causadas por el calor:

Intervenciones en Espacios Públicos. Conversión de terrenos baldíos de propiedad pública en espacios verdes.

Los espacios verdes urbanos ofrecen una variedad de servicios ecosistémicos. Las plantas y los árboles ayudan a bajar la temperatura y, por lo tanto, facilitan a reducir el efecto de isla de calor urbana al enfriar el aire cercano mediante el proceso de evapotranspiración, ofrecen sombra y difuminan la radiación solar. Estos servicios son de particular importancia para mitigar los efectos previstos del cambio climático sobre la mortalidad

relacionada con el calor. Los jardines, en particular, apoyan la biodiversidad urbana al proporcionar hábitats para polinizadores como las abejas y otras especies. Adicionalmente, los huertos urbanos ayudan a conservar la agrobiodiversidad.

La identificación de terrenos baldíos de propiedad pública y su conversión en espacios verdes es una solución multidimensional, ya que ayudará a reducir la temperatura en los meses más calurosos, aportará a mantener y expandir la biodiversidad urbana y transformará espacios abandonados en lugares que fomenten la participación de la comunidad. Los terrenos baldíos son focos de crimen y frecuentemente se convierten en vertederos de basura representando un grave peligro para la población vecinal debido a los constantes incendios que se desatan, algunos de los cuales son provocados intencionalmente. Se puede brindar incentivos al sector privado para que transformen e inviertan en estos espacios y a su vez se conviertan en mecanismos de comunicación sobre los riesgos del calor extremo.

Mejor Práctica de Baltimore, Estados Unidos



Fuente: US Environmental Protection Agency <https://www.epa.gov>

Los planificadores urbanos pueden desempeñar un papel esencial en la lucha contra el cambio climático. Una de las formas de hacerlo es repensar la utilización de terrenos baldíos. Estos espacios presentan una oportunidad para ayudar a las comunidades a ser más resilientes a los impactos del cambio climático y al mismo tiempo brindan beneficios adicionales como mejorar la salud y proteger la vida silvestre. En la ciudad de Baltimore el Departamento de Vivienda y Desarrollo Comunitario (HCD) creó el Programa “Adopta un Lote”, este programa permite que los ciudadanos puedan adoptar lotes baldíos de propiedad de la ciudad en su vecindario y transformarlos en una variedad de espacios abiertos administrados por la comunidad. Los residentes pueden solicitar un lote en línea a través de la página web del municipio. Adicionalmente, los residentes también pueden solicitar acceder al programa de Acceso al Agua para obtener el recurso con una tarifa fija reducida durante la temporada de cultivo. La iniciativa “Poder en la Tierra” ofrece ayuda sobre cómo adoptar lotes y cómo transformar con éxito los lotes baldíos en espacios verdes comunitarios. La HCD coordina con la Fundación Parks & People, quien ha sido un aliado estratégico para asistir a los residentes a encontrar fondos, hacer planes de diseño, ubicar plantas y árboles y avanzar con todo el proceso del programa “Adopta un Lote”.

Aumento Masivo de Cobertura Vegetal. En la actualidad la superficie arborizada del municipio se ha reducido. Esta disminución se debe a la expansión urbana, que ha provocado la tala de árboles para la construcción de viviendas, comercios e industrias.

Mejor Práctica de Hanoi, Vietnam



En 2019, la Cruz Roja de Hanoi abrió varios refugios para trabajadores al aire libre que necesitan descansar o tener un respiro del calor del verano. El proyecto fue financiado por la Cruz Roja Alemana. Los refugios, están ubicados en áreas donde hay varios vendedores y trabajadores al aire libre y se les ofrece agua y toallas frías.

Fuente: <https://www.forecast-based-financing.org>

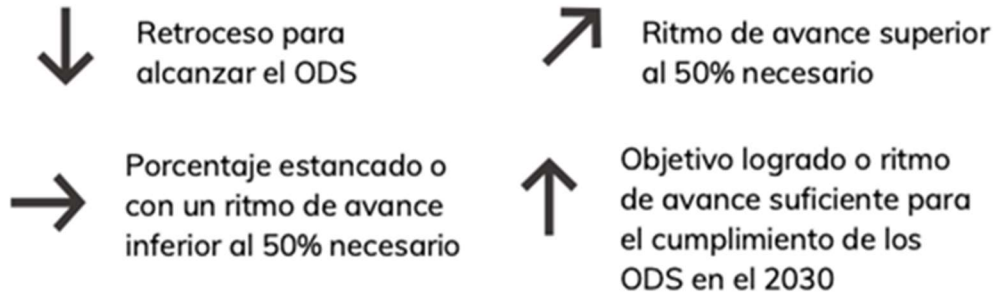
Cada refugio está equipado con mesas, sillas y ventiladores eléctricos con rociadores de agua. Voluntarios y paramédicos están presentes para proporcionar atención a las personas que sufren una insolación. La Cruz Roja de Hanoi también opera tres autobuses que ofrecen un lugar fresco a los trabajadores al aire libre en algunos mercados, hospitales o estaciones de autobuses. Los autobuses funcionan de 9 a 14 horas y atienden a unas 300 personas al día. La Acción Temprana tiene como objetivo mitigar el impacto de olas de calor sobre la población vulnerable, y por lo tanto, reducir el riesgo para la salud relacionado al calor extremo.

110

11	Accesibilidad peatonal a áreas verdes (porcentaje), 2020	58.6	●	↓
	Área verde per capita (metro cuadrado por habitante), 2020	2.1	●	↓
	Calidad del aire (puntos), 2018	55.6	●	→
	Carencia por acceso a los servicios básicos de la vivienda (porcentaje), 2020	4.0	●	↑
	Carencia por calidad y espacios de la vivienda (porcentaje), 2020	6.0	●	↗
	Densidad de áreas verdes urbanas (porcentaje), 2020	0.6	●	↓
	Disposición adecuada de residuos sólidos urbanos (porcentaje), 2020	96.9	●	↓
	Gestión de la calidad del aire (puntos), 2020	175.0	●	→
	Índice de crecimiento de la superficie urbana vs crecimiento de la población (razón), 2020	3.0	●	↓
	Personas que llegan a la escuela o al trabajo en menos de 30 minutos (porcentaje), 2020	80.1	●	→
	Programas de gestión de la calidad del aire (puntos), 2020	250.0	●	↑
	Viviendas intraurbanas (porcentaje), 2020	49.8	●	→
	Viviendas verticales (porcentaje), 2020	2.4	●	↓

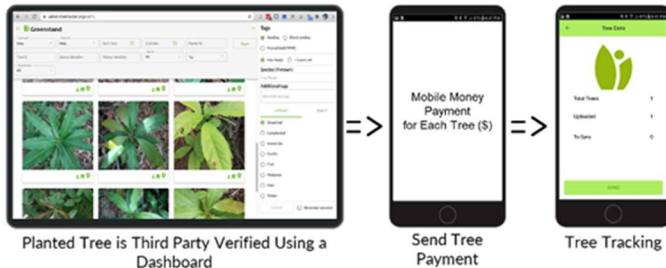
Fuente: Laboratorio Nacional de Políticas Públicas.

Cambios respecto a la edición 2018



Fuente: Laboratorio Nacional de Políticas Públicas.

Mejor Práctica de Freetown, Sierra Leona



Fuente: <https://blogs.worldbank.org>

Se implementó un mecanismo innovador de participación ciudadana para el monitoreo y cuidado de los árboles a través de la app *Tree Tracker*, la misma que fue desarrollada por el municipio. Los productores comunitarios utilizan la aplicación TreeTracker desde sus teléfonos inteligentes para crear un registro geoetiquetado de identificación para cada nuevo árbol plantado, incluida una fotografía. Los productores revisan cada árbol periódicamente para regarlo y mantenerlo, y utilizan la app para verificar y documentar la supervivencia del árbol, y recibir micro pagos de dinero móvil por sus esfuerzos. El objetivo de este modelo de cultivo y seguimiento es mejorar la apropiación comunitaria del proyecto sobre toda la cadena de proyectos de cultivo de árboles, como una medida para garantizar que se alcance la tasa de supervivencia de árboles prevista del 80%.

El programa “Freetown the Treetown” tiene como objetivo sembrar y cuidar 1 millón de árboles en la ciudad. Este proyecto está ligado a una campaña de desarrollo económico para reducir los riesgos del calor extremo, deslizamientos de tierra e inundaciones.

En 2020, la ciudad se asoció con ONGs para planificar la plantación y desarrollar un programa de empleo para monitorear y cuidar los árboles. “Freetown the Treetown” ha recibido múltiples reconocimientos internacionales, incluyendo el Global Mayors Challenge de Bloomberg Philanthropies.

Infraestructura Fría. Techos Fríos. Un techo fresco absorbe y transfiere menos calor del sol al edificio en comparación con un techo convencional. Históricamente, los techos fríos han sido de colores claros o directamente blancos. Sin embargo, en los últimos años también se han desarrollado productos que mantienen las cualidades de un techo frío incluso si es de tono oscuro. Un techo frío es un sistema que ofrece una mayor reflectancia solar (la capacidad de reflejar las longitudes de onda visibles, infrarrojas y ultravioletas del sol, reduciendo la transferencia de calor al edificio) y la emitancia térmica más alta (la capacidad de irradiar energía solar absorbida, o no reflejada) que los techos convencionales. Un estudio de 2010 del Berkeley Lab, basado en datos de la NASA, los techos fríos ofrecen las siguientes ventajas (We Are Water Foundation, 2021):

- Aire exterior más fresco: Reducen la temperatura del aire urbano, suavizando así el efecto ‘isla de calor’ en el conjunto de la ciudad.
- Menos emisiones de las plantas de energía: Reducen la demanda de energía eléctrica para aire acondicionado y otros sistemas de refrigeración, lo que rebaja las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejor calidad del aire: Ayudan a frenar la formación de ozono en el suelo.
- Desaceleración del cambio climático: Menos calor es absorbido en la superficie terrestre.
- Ahorro de energía y costes: En verano, se reduce el recibo de la luz para enfriar los edificios.
- Algunas empresas comercializan ya materiales para techos fríos en colores oscuros que reflejan hasta el 25% de la energía solar, es decir, el doble de lo que lo hacen las tejas convencionales.

Se pueden poner en marcha programas de subvenciones para financiar la instalación de techos fríos en propiedades nuevas y existentes. A su vez, se puede fomentar la colocación de techos fríos a través de cursos de formación para la instalación de estos y desarrollar programas de voluntariado para revestir las cubiertas.

Se puede proponer también el uso de impermeabilizantes blanco y/o reflejantes, que ya están en el mercado nacional, para las viviendas, porque ayuda a disminuir la temperatura al interior de las viviendas. Los techos refrescantes son una de las muchas estrategias de refrigeración pasivas que ayudan a mantener frescos las viviendas y los edificios.

Las estrategias de refrigeración pasivas ayudan a controlar la temperatura de los espacios sin utilizar electricidad. Algunas evitan que el calor entre al interior y otras permiten que el calor salga rápidamente. Un techo refrescante evita que el calor solar entre en la vivienda y/o edificio. Un techo refrescante típico utiliza recubrimientos para reflejar la luz solar y emitir el calor del edificio y/o vivienda hacia el exterior (ARUP, 2022).

Mejor Práctica de Santiago de Chile, Chile



Fuente: <https://onebillionresilient.org/>

En Santiago de Chile se implementaron de más de 1.000 m² de “Techos Verdes” en el Hospital pediátrico Dr. Exequiel González Cortés. La iniciativa público – privada, permite combatir olas de calor en lugares urbanos que concentran altas temperaturas, la captación de 3 toneladas de CO₂ anuales, además, de influir positivamente en la recuperación de los niños pacientes al transformar un lugar gris, en uno verde, que aporta a su bienestar. El Gobernador de Santiago, Claudio Orrego, expresó que:

“Pocas veces se tiene una iniciativa que cumple tantos objetivos a la vez, nos permite reducir la temperatura de Santiago, nos permite ahorro energético en el edificio, mejora la salud mental de todos, y además ayuda que en tiempos de lluvia esta superficie absorba más que otras”. Proyecto de pintura reflectiva para lograr que los edificios reflejen el calor disminuyendo entre 3 y 4 °C la temperatura de su interior (El Periódico de España, 2023).

Pavimentos Fríos. Los pavimentos son una superficie urbana abundante y cubren alrededor del 40 por ciento de las ciudades. Pero además de transportar tráfico, también pueden emitir calor. Debido al efecto de isla de calor urbana, las superficies impermeables y densamente construidas, como las aceras, pueden absorber la radiación solar y calentar su entorno reemitiendo esa radiación en forma de calor. Este fenómeno supone una grave amenaza para las ciudades. Aumenta la temperatura del aire hasta cuatro grados Centígrados y contribuye a los riesgos para la salud y el medio ambiente, riesgos que el cambio climático magnificará.

Un estudio reciente realizado por un equipo de investigadores actuales y anteriores del MIT CSHub en la revista Environmental Science and Technology describe los pavimentos fríos y su implementación. El estudio encontró que podrían reducir la temperatura del aire en Boston y Phoenix hasta 1,7 grados Celsius (3 F) y 2,1 C (3,7 F), respectivamente. También reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero, recortando las emisiones totales hasta en un 3 por ciento en Boston y un 6 por ciento en Phoenix. Sin embargo, lograr estos ahorros requiere seleccionar estrategias de pavimento fresco de acuerdo con el clima, el tráfico y las configuraciones de los edificios de cada vecindario. Se pueden adoptar normas de urbanismo y reglamentos de construcción que establezcan el uso pavimentos permeables estableciendo los materiales adecuados para las condiciones climáticas del municipio.

Mejor Práctica de Phoenix, Estados Unidos



Fuente:

<https://blogs.worldbank.org/sustainablecities/freetownthetreetown-campaign-using-digital-tools-encourage-tree-cultivation>

El Programa “*Pavimentos Fríos*” de Phoenix comenzó en 2020. Durante los últimos cuatro años, el revestimiento de sellado frío se ha aplicado a las calles de docenas de vecindarios de toda la ciudad y al estacionamiento de Esteban Park. En junio 2023, el Departamento de Transporte de Calles de Phoenix celebró la aplicación de la innovadora capa de sellado de pavimento fresco en 160 kilómetros de calles de la ciudad.

El personal del Departamento de Transporte de Calles y los investigadores de la Universidad Estatal de Arizona se han asociado para analizar el impacto que tiene el pavimento frío sobre el efecto de isla de calor urbano. Las pruebas han demostrado una diferencia de temperatura superficial de 10,5 a 12 grados Fahrenheit en el mediodía y la tarde, y las temperaturas superficiales al amanecer tienen un promedio de 2,4 grados menos. La capa de sellado de pavimento fresco es producida localmente por GuardTop, que en 2017 abrió una instalación de producción de 1100 metros cuadrados cerca del centro de Phoenix. El revestimiento de pavimento fresco es un producto reciclable, no tóxico y a base de agua que se adhiere al asfalto. Además de suministrar el producto a la ciudad de Phoenix, la empresa envía el producto a otras ciudades: EE. UU. y otros países, incluidos Australia, Canadá, Singapur y los Emiratos Árabes Unidos.

ANEXOS

Anexo 1: Cálculo percentiles y días consecutivos

1. Conceptualización de calor extremo

De acuerdo con National Integrated Heat Health Information Service (NIHHIS, 2017), el calor extremo se puede entender como eventos individuales de altas temperaturas en los que éstas se aproximan, igualan o superan los récords extremos experimentados anteriormente, o bien, como episodios de ola de calor que ocurren durante dos o más días consecutivos.

La mayoría de los estudios disponibles han abordado el tema de las olas de calor, pero no se tiene una definición única y precisa de “calor extremo”, ya que, al considerar la climatología de cada región o localidad, los eventos de calor pueden variar en intensidad, frecuencia y extensión. Sin embargo, se puede definir de manera general a los eventos de calor extremo como periodos de tiempo inusualmente cálidos, con variaciones en su duración y que se observan sobre un amplio territorio (Villa-Falfán, Vázquez-Aguirre y Sánchez-Martínez, 2019: 44).

Estos eventos de calor extremo representan una amenaza para la salud a nivel mundial y para la productividad en diversos sectores, entre los que se encuentran la ganadería, agricultura, recursos forestales, servicios de salud, suministro de agua potable, suministro de energía eléctrica y transporte, entre otros (Herrera-Alanis, 2012).

Puesto que no existe un método único para definir al calor extremo, algunos autores han utilizado diversas definiciones, entre los que se encuentran (Villa-Falfán, Vázquez-Aguirre y Sánchez-Martínez, 2019: 44) (Arellano-Ramos et al., 2022: 6):

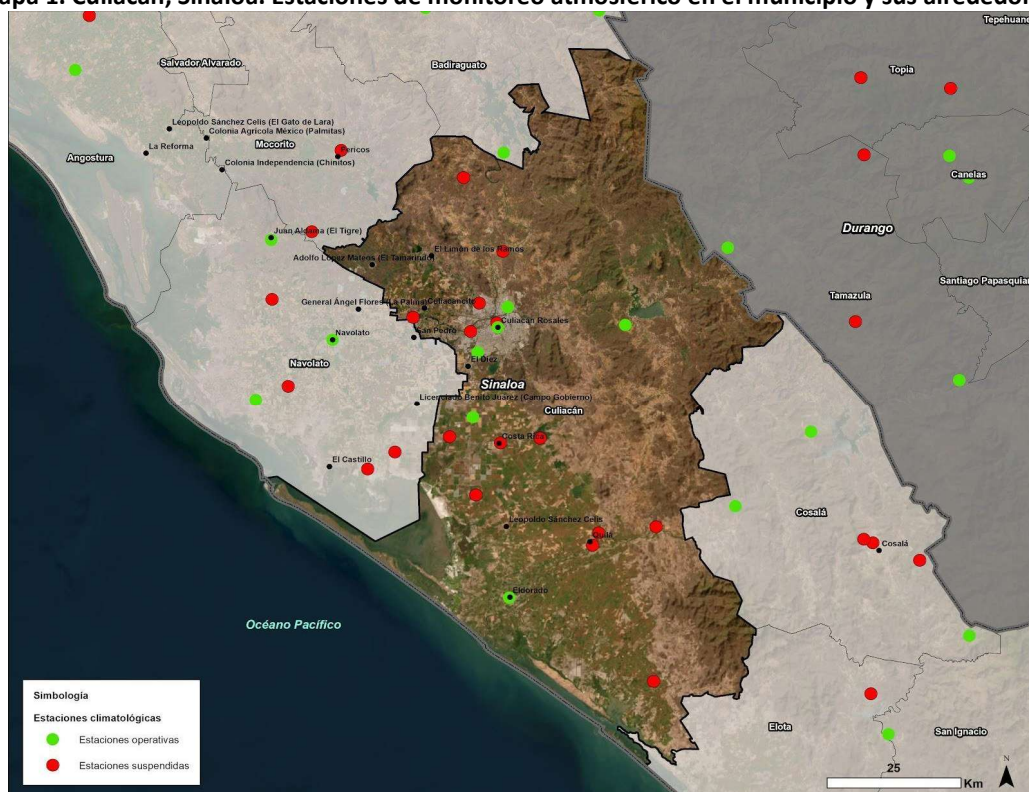
- García-Cueto *et al.* (2009), definieron ola de calor en Mexicali como un periodo en que la temperatura máxima diaria excede el percentil 90 (44°C) por un mínimo de dos días consecutivos.
- Espinoza-Tamarindo (2013), definió una ola de calor cuando se observan periodos consecutivos de dos o más días en los que las temperaturas exceden el percentil 90.
- WMO TT-DEWCE (2015) define ola de calor como la región que persiste durante al menos dos días consecutivos con condiciones térmicas registradas por encima de los umbrales determinados previamente.
- La Agencia Española de Meteorología (AEMET, 2021), considera ola de calor a un episodio de al menos tres días consecutivos, en que como mínimo el 10% de las estaciones consideradas registran máximas por encima del percentil 95 de los meses de julio y agosto.

Para el análisis de calor extremo se tomó como referencia el modelo que se utiliza en el artículo “Análisis de calor extremo en el estado de Veracruz y sus aplicaciones”, el cual se basa en el método de Categorización de Umbral y utiliza el cálculo de percentiles.

2. Obtención de datos

Para obtener los datos se revisó la información histórica que han generado las estaciones de monitoreo atmosférico de la CONAGUA. Se detectaron 19 estaciones dentro del territorio de Culiacán y adicionalmente se consideraron 10 más, que se encuentran en los alrededores del municipio, para poder mapear todo el territorio municipal y tener una mayor cantidad de datos e información sobre la ciudad y su entorno.

Mapa 1. Culiacán, Sinaloa. Estaciones de monitoreo atmosférico en el municipio y sus alrededores.



Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Una vez identificadas estas **29 estaciones**, se procedió a descargar la información de cada una de las estaciones para determinar cuáles contaban con la información mínima indispensable para obtener resultados representativos, estos criterios fueron:

1. Contener datos de por lo menos de 30 años seguidos, alrededor de 10 mil 950 datos.
2. Que los datos de estos 30 años tuvieran el mismo periodo de tiempo para que fueran comparables.
3. Que durante el periodo de 30 años contaran por lo menos con el 85% de datos, lo que significa contar por lo menos con 9 mil 307 datos por cada estación.

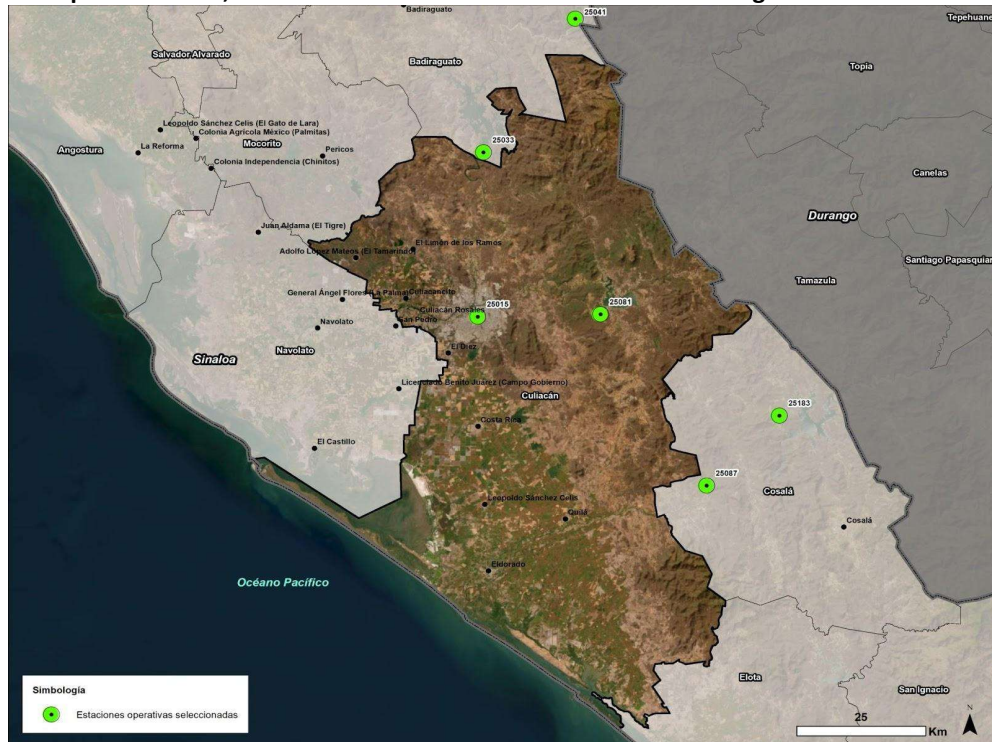
Posteriormente, se determinó que solo 2 estaciones del municipio y 4 de las que se encuentran fuera cumplieron con estos requisitos.

Cuadro 1. Culiacán, Sinaloa. Información de las 6 estaciones seleccionadas

Estaciones	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Situación	Organismo
25015	Sinaloa	24.792	-107.398	60	Operando	Conagua-DGE
25081	Sinaloa	24.8	-107.163	104	Operando	Conagua-DGE
25033	Badiraguato	25.094	-107.393	119	Operando	Conagua-DGE
25041	Badiraguato	25.343	-107.221	512	Operando	Conagua-DGE
25183	Cosala	24.618	-106.817	310	Operando	Conagua-DGE
25087	Cosala	24.488	-106.954	109	Operando	Conagua-DGE

Fuente: elaborado por Centro Eure a partir de Conagua.

Mapa 2. Culiacán, Sinaloa. Ubicación de las estaciones meteorológicas seleccionadas



Fuente: elaborado por Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Posteriormente, se diseñó una tabla de Excel en la que se realizó lo siguiente:

- Se agregaron las fechas que no se encontraban dadas de alta en las bases de datos de cada estación.
- Se verificó que todos los valores de las fechas que no contengan datos quedaran como un valor no numérico (NA) para que no alteraran los resultados.
- Se desagregó la fecha en 3 diferentes columnas (día, mes, año) para que el software R (versión 4.2.0, R Core Team, 2022) pudiera correr de manera correcta.
- En una hoja de Excel se colocaron los datos de todas las estaciones en 4 columnas: No. estación, día, fecha, año y T° máxima. Se trabajó con un total de 62 mil 929 datos de T° max de los 56 mil 742

posibles.

De acuerdo con el método propuesto (Villa *et al.*, 2019), se **calcularon las temperaturas de calor extremo** utilizando el cálculo de percentiles (90%, 95%, 99%):

- P99= representa al 1% de la muestra de las series de temperaturas máximas (es decir, las extremadamente altas).
- P90=10% de los valores más altos de la muestra.
- P95=5% de los valores más altos de la muestra.

Los percentiles son la centésima fracción de los datos de una muestra en un arreglo ordenado. Esto nos permite ubicar diferentes puntos de interés en la muestra (Walpole *et. al.* 1993). Por lo que los percentiles 90%, 95% y 99% de la Temperatura Máxima Diaria nos muestran los valores más elevados de temperatura de un mes determinado.

Los 3 percentiles se calcularon por estación y para cada mes de cada año, durante 30 años (1989-2019), lo que equivale a 1 mil 80 datos por estación. Como se mencionó antes, para realizar dichos cálculos se utilizó el programa estadístico *R versión 4.2.0.* (R Core Team, 2022) Para poder sistematizar el cálculo de los percentiles se diseñaron 2 funciones especializadas:

118

La función 1, extrae la información para cada mes de una estación dada y calcula los 3 percentiles de interés.

La función 2, nos permite obtener el promedio de cada percentil para cada mes a lo largo del rango de años con el que estemos trabajando. Con estos datos se podrá crear los mapas de temperaturas extremas del municipio.

De acuerdo al método definido (Villa, *et. al.* 2019), se deben ubicar los días consecutivos en los que la Temperatura Máxima Diaria alcanzó o superó los valores de los percentiles para poder ubicar tendencias de aumento sostenido de temperatura. Para realizar esta evaluación, se construyó una matriz que contiene los campos originales (No. estación, día, fecha, año y T° máxima), 3 campos adicionales con los valores de los percentiles 90%, 95% y 99% y 3 campos lógicos (TRUE/FALSE) que indican si la Temperatura Máxima diaria sobrepasó cada uno de los percentiles.

3. Resultados

Una vez que se ha desarrollado el “script” (secuencia de comandos o guion, es un término informal que se usa para designar un lenguaje de programación que se utiliza para desarrollar acciones y operaciones a través de un software) y con la información de las estaciones de monitoreo se obtuvieron las siguientes tablas:

Cuadro 2. Culiacán, Sinaloa. Valores de temperatura máxima promedio anual/mes por estación 1

	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
Estacion	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90	95	99
25183	33.60	34.40	35.00	34.53	35.58	36.00	35.17	36.40	37.00	38.98	39.63	40.00	38.50	38.98	39.13	38.74	39.54	39.75
25033	32.40	33.80	34.25	34.68	35.84	36.50	35.63	37.17	38.17	39.15	39.71	40.17	39.00	39.95	40.25	40.58	40.93	41.00
25081	33.79	34.79	35.26	34.78	35.84	36.25	36.31	37.16	37.60	38.11	38.90	39.33	39.57	40.21	40.57	39.84	40.33	40.53
25015	31.62	32.52	33.08	32.56	33.42	33.82	34.51	35.41	35.90	36.34	37.09	37.50	38.49	39.12	39.40	39.34	39.98	40.30
25087	34.23	34.95	35.63	34.17	35.08	35.50	34.20	35.37	36.17	37.12	37.95	38.50	37.60	38.35	38.50	37.75	38.14	38.63
25041	34.77	35.83	36.83	36.18	36.92	37.33	38.28	39.00	39.38	41.33	41.60	41.88	40.85	41.80	42.25	41.36	42.11	42.25

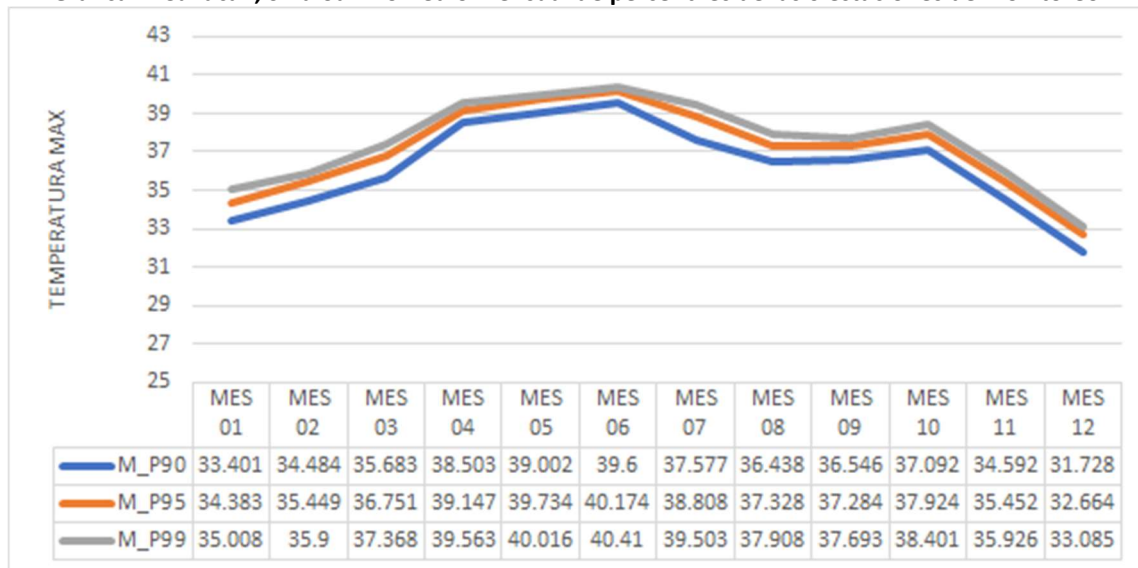
Cuadro 3. Culiacán, Sinaloa. Valores de temperatura máxima promedio anual/mes por estación 2

	MES 7			MES 8			MES 9			MES 10			MES 11			MES 12		
Estacion	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90	95	99
25183	36.20	37.55	38.00	34.75	35.80	36.63	35.24	36.11	36.25	35.83	36.48	37.00	33.11	33.77	34.25	30.15	30.98	31.50
25033	37.13	38.10	39.00	36.58	37.58	38.25	37.10	37.71	38.13	37.23	38.50	39.25	33.98	34.96	35.38	31.38	32.75	33.13
25081	38.63	39.49	40.05	37.42	37.98	38.40	36.88	37.53	37.82	37.66	38.32	38.60	36.01	36.92	37.38	33.30	34.11	34.42
25015	39.31	40.09	40.47	38.33	38.94	39.30	37.97	38.77	39.22	38.49	39.27	39.68	35.67	36.42	36.80	32.04	32.88	33.22
25087	37.13	39.03	39.63	35.85	36.75	37.13	36.36	37.44	38.13	36.53	37.25	37.63	34.33	35.04	35.25	32.40	33.35	33.88
25041	37.08	38.60	39.88	35.70	36.93	37.75	35.73	36.14	36.63	36.83	37.73	38.25	34.46	35.61	36.50	31.10	31.93	32.38

Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Se obtuvo el promedio de percentil por mes, donde se observa que el mes con las temperaturas máximas ha sido el mes de junio, superando los 40°C, y diciembre con las menores temperaturas máximas con temperatura de 31.728°C para el percentil 90.

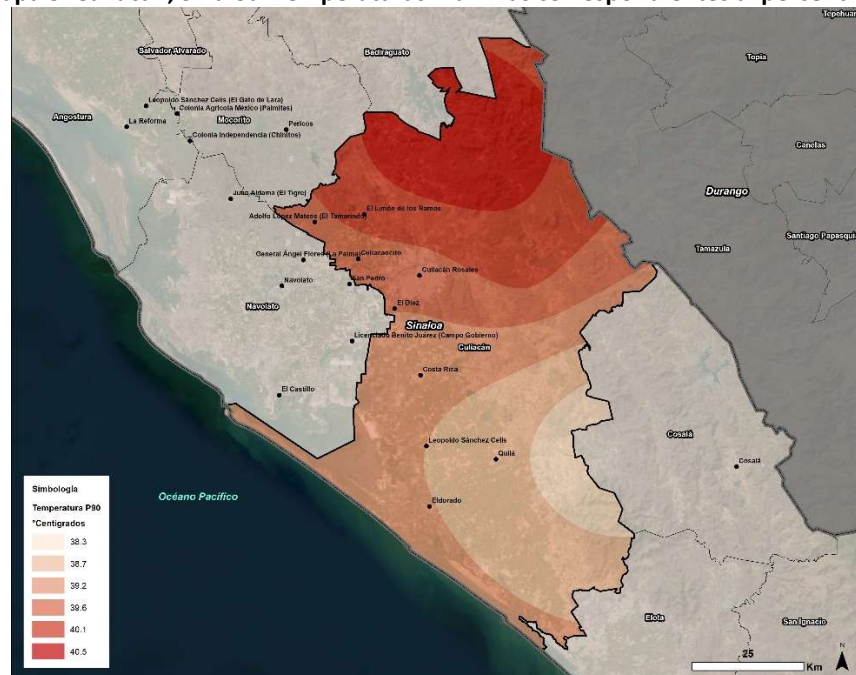
Gráfica 1. Culiacán, Sinaloa. Promedio mensual de percentiles de las 6 estaciones de monitoreo



Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Con el objetivo de hacer visual para los tomadores de decisiones la situación en el municipio, se desarrollaron los mapas 3, 4 y 5 que muestran las **temperaturas máximas** correspondientes a cada percentil para el mes de junio. En el mapa 5, se aprecia la información correspondiente al percentil 90% (10% de los valores que presentaron mayor calor extremo), es decir, es posible apreciar que en la zona alta de Culiacán se presentaron temperaturas por encima de 40.5°C, mientras que en la zona urbana las temperaturas máximas en el 10% de los días fueron de 39.6 °C.

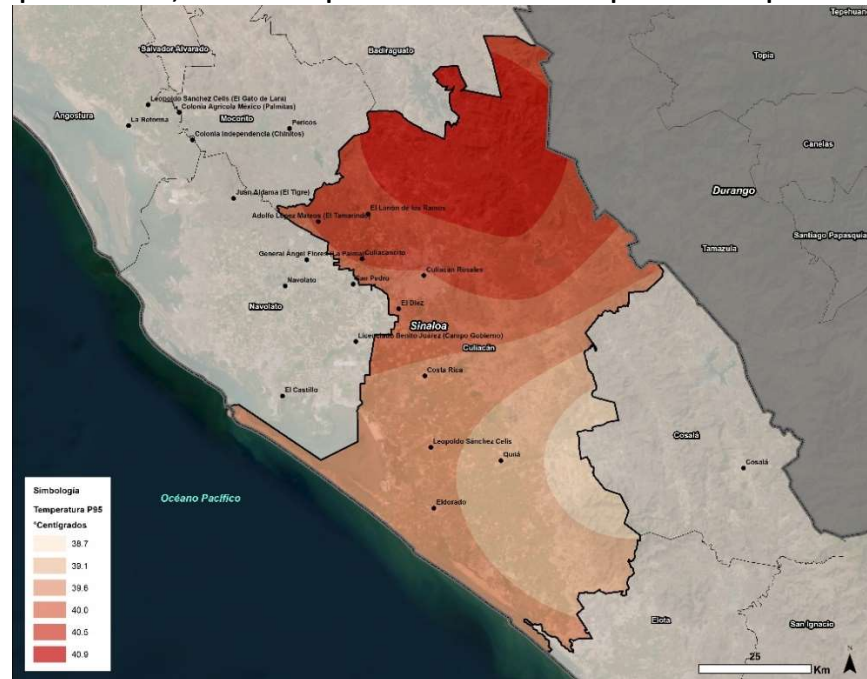
Mapa 3. Culiacán, Sinaloa. Temperaturas máximas correspondientes al percentil 90



Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Para el caso del percentil 95, que son temperaturas que se superaron en el 5% de los casos, se observa que la temperatura máxima alcanzada sube a valores de 40.9°C en comparación con el percentil 90 que es de 40.5°C. De igual manera, las temperaturas máximas se alcanzan en la zona norte del municipio. En este caso la zona urbana de Culiacán ya presenta temperaturas máximas de 40°C en la zona norte, abarcando prácticamente la mitad de esta zona.

Mapa 4. Culiacán, Sinaloa. Temperaturas máximas correspondientes al percentil 95

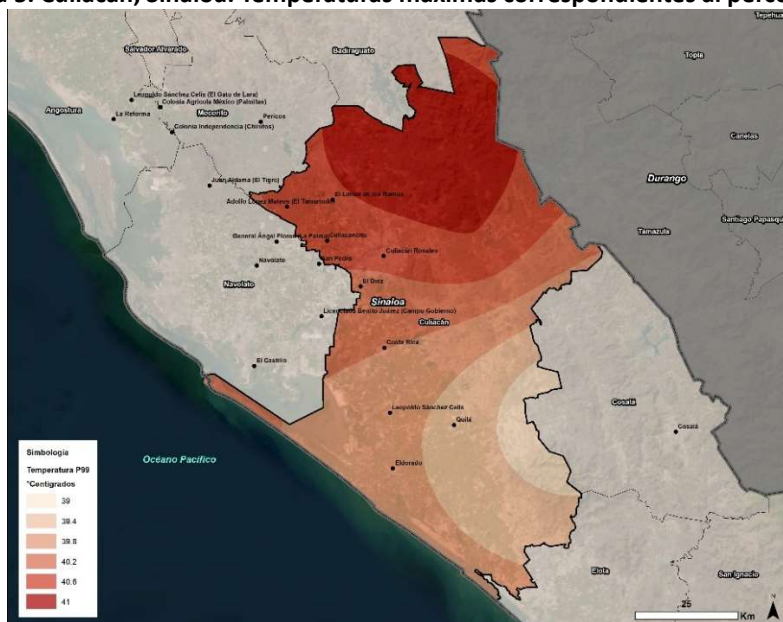


Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Finalmente, con los datos del percentil 99 que representan las temperaturas máximas en el 1% de los valores, las temperaturas máximas alcanzadas en el municipio son de 41°C, de igual manera en la zona norte, pegados al municipio de Badiraguato; y cubriendo más del 90% de la zona urbana con una temperatura máxima de 40.6°C.

Es importante resaltar que la región centro del municipio, entre la costa y la zona urbana, que es donde se lleva a cabo gran parte de las actividades agrícolas del municipio, se alcanzó temperaturas entre los 39.4 y 39.8 °C, lo cual puede ser un factor de riesgo para cierto tipo de cultivos.

Mapa 5. Culiacán, Sinaloa. Temperaturas máximas correspondientes al percentil 99



Nota: P99= representa al 1% de la muestra de las series de temperaturas máximas (es decir, las extremadamente altas).

Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Asimismo, se calculó la frecuencia de casos de calor extremo para cada una de las estaciones, para que esta definición se pudiese cumplir se consideraron el número de días consecutivos (2, 3, 4, 5 y 6+). Como se observa, adicional a lo elevado de las temperaturas, existe una gran cantidad de días en los que los eventos de calor no son solo de un día, **sino que llegan a durar hasta una semana, lo que provoca daños a la salud, mortalidad, pérdida de biodiversidad, pérdida de cultivos, entre otras consecuencias.**

122

Cuadro 4. Culiacán, Sinaloa. Número de casos de calor extremo que superaron el percentil 90 de temperatura máxima mensual. Temperaturas que se presentaron en el 10% de los casos.

Estaciones	2 días	3 días	4 días	5 días	≥6 días
25015	111	18	2	0	1
25081	232	81	11	3	4
25033	116	53	29	14	30
25041	212	135	72	57	167
25087	232	86	24	15	4
25183	216	109	35	9	10

Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Cuadro 5. Culiacán, Sinaloa. Número de casos de calor extremo que superaron el percentil 95 de temperatura máxima mensual. Temperaturas que se presentaron en el 5% de los casos

Estaciones	2 días	3 días	4 días	5 días	≥6 días
25015	1	0	0	0	0
25081	51	9	0	0	0
25033	63	23	13	6	14
25041	176	83	67	39	108
25087	68	17	3	1	2
25183	49	18	2	0	0

Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Cuadro 6. Culiacán, Sinaloa. Número de casos de calor extremo que superaron el percentil 99 de temperatura máxima mensual. Temperaturas que se presentaron en el 1% de los casos

Estaciones	2 días	3 días	4 días	5 días	≥6 días
25015	0	0	0	0	0
25081	51	9	0	0	0
25033	63	18	11	6	13
25041	41	14	1	0	0
25087	67	17	3	1	2
25183	49	18	2	0	0

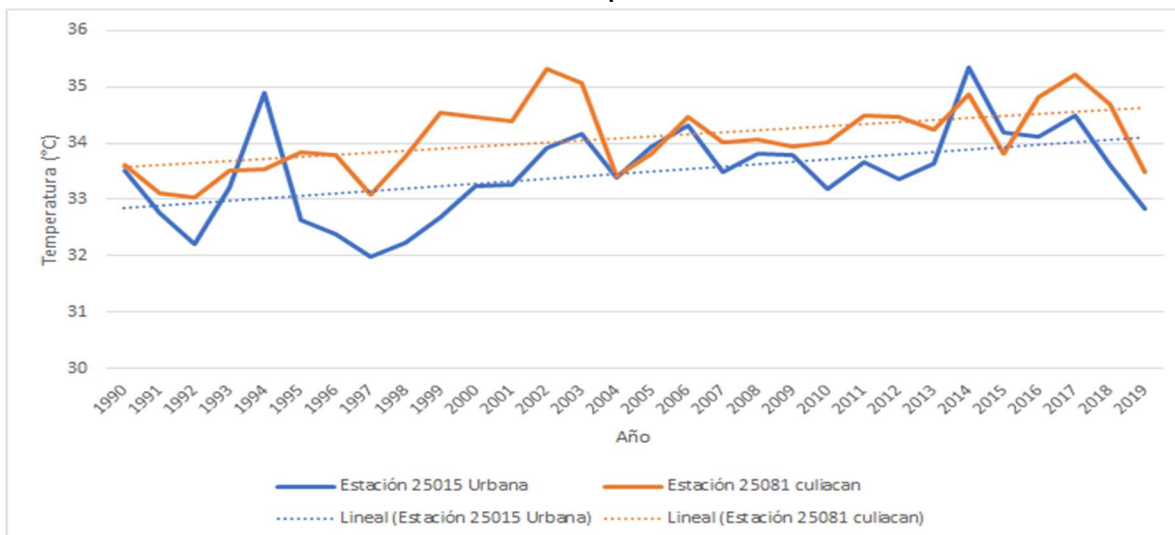
Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Finalmente, y en apego a la literatura nacional e internacional de cambio climático en la que se establece que la temperatura del planeta, así como sus temperaturas máximas han aumentado, se calcularon los promedios máximos de temperatura anuales para los 30 años para las estaciones que se encuentran dentro del municipio.

Se observa que, al proponer una regresión lineal de los datos, las 2 estaciones muestran una elevación de las temperaturas máximas de 1.1°C durante el periodo de 30 años de estudio, pasando de 32.9°C y 33.5°C a 34.1°C y 34.6°C respectivamente.

Este incremento también debe considerar que los valores para determinar el calor extremo se han ido incrementando a lo largo de los años, y que los rangos de ondas de calor extremo actuales son mayores que a las de hace 30 años; por lo que se deberá tener precaución si estos valores se siguen incrementando en los próximos años.

Gráfico 2. Culiacán, Sinaloa. Promedios de las temperaturas máximas para las estaciones del municipio.



Fuente: Centro Eure a partir del Servicio Meteorológico Nacional.

Reflexiones. Es de suma importancia generar información como la aquí presentada, debido a que da herramientas a los tomadores de decisiones y a la población en general para generar medidas y acciones que coadyuven en el cuidado de la salud de la población, así como de los recursos naturales y económicos del territorio.

Con la información presentada se muestra como las temperaturas a nivel local han ido incrementando y que, al seguir la tendencia actual en cuanto a consumo de recursos y pérdida de biodiversidad, estas elevaciones de temperatura también continuarán y pondrán en riesgo el equilibrio ecológico de la región.

En los mapas, **se ha observado el incremento de las temperaturas máximas en la zona más urbanizada de Culiacán, alcanzando temperaturas de 40.6°; por lo que es de suma importancia generar acciones que mitiguen el efecto de isla de calor en las zonas urbanas como son: incrementar las zonas con cubierta vegetal nativa, reducir la tala de árboles en la región, acciones de eficiencia energética como los son techos reflectantes, aprovechamiento de la incidencia solar a través de paneles y calentadores solares, reducir la contaminación atmosférica, cuidar los cuerpos de agua del municipio; etc.**

La tendencia al alza de las temperaturas locales, como se evidencia en la información presentada, plantea desafíos significativos para la ecología y la sostenibilidad en el municipio de Culiacán, Sinaloa. Este aumento de temperatura, impulsado por el actual patrón de consumo de recursos y la pérdida de biodiversidad, amenaza con perturbar el equilibrio ecológico de la región. Para abordar estos riesgos, es imperativo implementar medidas de mitigación que contrarresten los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la formación de islas de calor en las áreas urbanizadas.

Se ha observado un incremento notable de las temperaturas máximas en las zonas más urbanizadas de Culiacán, alcanzando niveles alarmantes de hasta 40.6°C. En respuesta a este fenómeno, se proponen acciones específicas para mitigar el efecto de isla de calor en las áreas urbanas. Estas acciones incluyen la expansión de zonas con cubierta vegetal nativa, la implementación de prácticas para reducir la tala de árboles, estrategias de eficiencia energética mediante techos reflectantes, aprovechamiento de la energía solar a través de paneles y calentadores solares, la reducción de la contaminación atmosférica y la preservación de los cuerpos de agua en el municipio. Estas medidas no solo buscan contrarrestar el aumento térmico local, sino que también buscan fomentar un entorno más sostenible y resiliente para la comunidad de Culiacán.

Referencias bibliográficas

- Acosta-Rendón J. (2019). La forma urbana efecto de la concentración dispersión de la población en Culiacán Rosales. Contexto. Vol. XIII. N°19, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7433667.pdf>.
- Albert, L.A. (2019). ¿Funcionan hoy las leyes mexicanas para el control de los agroquímicos? Los reglamentos, <https://microadmin.jornada.com.mx/ecologica/2019/04/24/funcionan-hoy-las-leyes-mexicanas-para-el-control-de-los-agroquimicos-5018.html>
- American Forests. "Tree Equity Score." <https://www.treeequityscore.org/>.
- Arellano-Ramos B. et. al. (2022). Olas de Calor en la ciudad de Barcelona. 1971-2020. *ACE Architecture, City and Environment*, 17 (50) CC BY-NC-ND 4.0, UPC Barcelona, España. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.17.50.11684>
- Asip-Vilà, D. (2019). Materiales termo crómicos como tecnología pasiva en cubierta. MBArch Innovación Tecnológica en la Arquitectura, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona-UPC. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/328031/TFM_David%20Masip.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Atlantic Council. Adrienne Arsht-Rockefeller Foundation Resilience Center. "Heat Action Platform", 2022. <https://heatactionplatform.onebillionresilient.org/>
- BBC News Mundo. (2019). Por qué está aumentando la velocidad de los vientos en la Tierra (y cómo nos puede afectar). <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50489716>
- Berkowits, Bonnie et al. (2023). We built a fake metropolis to show how extreme heat could wreck cities, The Washington Post. <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/interactive/2022/heat-infrastructure-transportation/>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012). Ley General de Cambio Climático. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf> [consultado en julio 2023].
- Carmona S. (2023). Varios estados sufren apagones en plena ola de calor, ¿se cumple la advertencia del Cenace? <https://vanguardia.com.mx/noticias/varios-estados-sufren-apagones-en-plena-ola-de-calor-se-cumple-advertencia-del-cenace-FD8261632>
- Castro Gabriela. (2023). Ola de Calor despunta vómitos y diarreas en Culiacán, Debate Sinaloa. <https://www.debate.com.mx/sinaloa/culiacan/Ola-de-calor-despunta-los-vomitos-y-diarreas-en-Culiacan-20230522-0078.html>
- Center for Disease Control and Prevention (CDC). (2022). Gáñele al calor: Calor extremo. https://www.cdc.gov/orr/infographics/beattheheat_esp.htm
- Center for the Built Environment. University of California, Berkeley, "Thermal Comfort Tool". <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>.
- Ciencias de la Atmósfera UNAM. (s.a.). Información sobre calor extremo. https://ciencia.unam.mx/leer/1134/-buscas-informacion-sobre-el-calor-extremo-chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.cdc.gov/orr/infographics/00_docs/332175_d-ig-updates-extreme-heat_es.pdf
- ClimPact Science. <https://climpact-sci.org/>.
- CNN. (2023). Extreme heat has killed 147 people in 5 counties, coroners report. The real number is likely much higher. <https://edition.cnn.com/2023/08/07/us/extreme-heat-death-toll-underestimate-climate/index.html>
- Cohen-Shacham, E., G. Walters, S. Maginnis y C. Janzen (2016), "Nature-based Solutions to address global societal challenges", 10.2305/IUCN.CH.2016.13, file:///C:/Users/kora0/Downloads/NbS_Report_Final.pdf

- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2014). Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía 2014, para la ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99849/PMPMS_Culiac_n_Sin.pdf.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2023). Monitor de Sequía en México (MSM), <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (s.f). Una nueva aplicación monitoriza la mortalidad atribuida al calor en España, <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/una-nueva-aplicacion-monitoriza-la-mortalidad-atribuida-al-calor-en-espana>.
- Corona M. y Juárez C. (2021). ¡Calor Extremo!, Ciencias de la Atmósfera UNAM, <https://ciencia.unam.mx/leer/1134/-buscas-informacion-sobre-el-calor-extremo->
- Dirección General de Epidemiología (DGE). (2023). Anuarios de Morbilidad 1984 a 2022, Secretaría de Salud, <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/anuarios-de-morbilidad-1984-a-2022>
- Domínguez L. (2020). Adaptación basada en ecosistemas en zonas urbanas, Taller: Soluciones climáticas basadas en la naturaleza para el desarrollo urbano sustentable y resiliente, INECC, 8 de septiembre, <https://docs.google.com/presentation/d/1wiTiKVHv8Q9Ww3yoWpPU6zll3pn1vQfk/edit#slide=id.p1>
- El Mundo. (2023). El 2023 será el año más caluroso tras el nuevo récord de temperaturas en octubre, <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio ambiente/2023/11/08/654b7ba7fc6c83d9378b4585.html>.
- El Periódico de España. (2023). Techos fríos: la forma de lograr casas más frescas y ahorrar energía, <https://www.epe.es/es/medio-ambiente/20230909/techos-frios-forma-lograr-casas-91613559>
- El Sol de México. (2023). La ola de calor pone en riesgo la producción de alimentos, <https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/ola-de-calor-pone-en-riesgo-produccion-de-alimentos-10257736.html>.
- El Sol de Sinaloa. (2023). De nueva cuenta un fuerte viento e intensa lluvia azota a Culiacán, <https://www.elsoldesinaloa.com.mx/local/de-nueva-cuenta-fuerte-viento-e-intensa-lluvia-azota-a-culiacan-10580383.html>
- Enciclopedia ACE. (2020). Integridad electoral, <https://aceproject.org/main/espanol/ei/eic.htm>.
- EPA. (s.a.). Estrategias de enfriamiento para las islas de calor, <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/estrategias-de-enfriamiento-para-las-islas-de-calor>.
- Estrada F. (2019). Impactos económicos del cambio climático y de la isla de calor urbana, Seminario-Taller: Isla de calor urbana en la Ciudad de México, México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 8 de noviembre.
- Estrada F. (2022). La isla de calor, el fenómeno climático que ha aumentado la temperatura de la CDMX, La temperatura de la Ciudad de México ha aumentado 4° con respecto al siglo pasado, entrevista en Aristegui Noticias, publicada por Redacción AN/RVC con información de Gaceta UNAM, 30 de junio.
- Figueroa Alexandra. (2023). En Sinaloa, altas temperaturas han causado cuatro golpes de calor, <https://revistaespejo.com/2023/06/19/sinaloa-altas-temperaturas-golpes-de-calor/>.
- Fundación Friedrich Ebert Stiftung (FES). (2020). Esto no da para más, Proyecto Transformación, Ciudad de México.
- Gallardo G. (2015). Cambio climático/Culiacán, muy vulnerable, <https://www.noroeste.com.mx/buen-vivir/cambio-climatico-culiacan-muy-vulnerable-OBNO441492>
- Geolmex. (2021). Sistema de atlas de peligros y/o riesgos del municipio de Culiacán, Sinaloa, https://apps.culiacan.gob.mx/transparencia/archivos/42_exp18180_atlas_de_riesgos_2020.pdf.
- Gobierno de Jalisco, Medio Ambiente y Desarrollo Territorial et al. (2021). Diagnóstico de capacidades institucionales de los gobiernos

subnacionales para la acción climática 2020-2021, s.l., ANAAC, Comunidad Climática Mexicana

Gobierno de México. (2023). Hablemos de Salud-Blog, <https://www.gob.mx/promosalud/es/articulos/que-calor-que-calor-tengo?idiom=es>

Gómez G. (2013). Impacto económico ocasionado por las altas temperaturas en las familias de Ciudad Obregón Sonora, México.

H. Ayuntamiento de Culiacán. (2003). Reglamento de Estaciones de Servicio del Municipio de Culiacán, Sinaloa. https://iip.congresosinaloa.gob.mx/docs/reg_mun/007/020.pdf.

H. Ayuntamiento de Culiacán. (2020). Sistema de atlas de peligros y/o riegos del municipio de Culiacán, Sinaloa. México. https://apps.culiacan.gob.mx/transparencia/archivos/42_exp18180_atlas_de_riesgos_2020.pdf

H. Ayuntamiento de Culiacán. (2021). Demografía, Gobierno de Culiacán. <https://www.culiacan.gob.mx/?view=article&id=92&catid=8>

Haupt, P. A. et al. (2020). "A systematic review of motives for densification in Swedish planning practice. Beyond 2020-World Sustainable Built Environment conference", IOP Conference, Series: Earth and Environmental Science, núm. 588, DOI:10.1088/1755-1315/588/5/052030

Heat Island Group (2019). UHI mitigation in cities: Integrated approach is key to success, Berkeley, Cal., Berkeley Lab, Haley Gilbert (contractor of Heat Island Group), https://docs.google.com/presentation/d/1yFGwQs5ie9_qZxF-PMkQNOWuiAKjvhWu/edit#slide=id.p1

Herrera-Alanís, J.L. (2012). Análisis de las olas de calor en la república mexicana, tesis doctoral, Ciudad de México, UNAM.

Hodrick, R.J. y E.C. Prescott. (1997). Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation. J Money, Credit Bank 29:1, <https://doi.org/10.2307/2953682>

Instituto de Ciencias de la Atmosfera y Cambio Climático (ICAYCC). (2023). Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación, UNAM, <https://atlasclimatico.unam.mx/cmip5/visualizador>

Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán (IMPLAN) (2016), Programa de Acción Climática Municipal del Municipio de Culiacán.

Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán (IMPLAN) (2018), Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable, https://IMPLANculiacan.mx/descargas/PIMUS/PIMUS%20Culiac%E1n_FINAL.pdf.

Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán (IMPLAN) (2006). Plan Parcial de Movilidad para el Desarrollo Urbano de la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, https://IMPLANculiacan.mx/descargas/planes/Plan_Parcial_de_Movilidad/DOCUMENTOS/2_PLAN_DE_MOVILIDAD_DIAGNOSTICO_PRONOSTICO.pdf.

Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán (IMPLAN) (2021a), Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Culiacán, https://IMPLANculiacan.mx/descargas/planes/PMOTyDUC_2021/DOCUMENTO/PMOTyDUC%202021.pdf.

Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán (IMPLAN) (2021b), Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Culiacán. https://implanculiacan.mx/descargas/planes/PDUCPC_2021/01%20DOCUMENTO/PDUCPC%202021.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005). Censo de Población y Vivienda 2005.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010a), Censo de Población y Vivienda 2010.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010b), Compendio de información geográfica municipal 2010. Culiacán, Sinaloa, https://www.INEGI.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/25/25006.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015), Encuesta Intercensal 2015.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021), Aspectos Geográficos, Sinaloa, https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_25.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.a.) Parque automotor en los últimos 20 años. Dato: Total de vehículos registrados, Vehículos de Motor Registrados en Circulación, <https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#tabulados>.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (2019). Normatividad Estatal y Municipal, <https://www.gob.mx/inafed/articulos/normatividad-estatal-y-municipal?idiom=es>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014), Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014), Informe de síntesis del Quinto Informe de Evaluación (AR5), <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/ipcc-en-espanol-publications/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018), Anexo I: Glosario en Calentamiento global de 1,5°C., Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza, Ginebra, Suiza, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf
- ISOFocus 140 (2020), Creamos ciudades sostenibles, Revista de la Organización Internacional de Normalización, mayo-junio, [https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/magazine/ISOfocus%20\(2013-NOW\)/sp/ISOfocus_140_sp.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/magazine/ISOfocus%20(2013-NOW)/sp/ISOfocus_140_sp.pdf)
- Jesdale, B.M., R. Morello-Frosch y L. Cushing (2013), “The racial/ethnic distribution of heat risk-related land cover in relation to residential segregation”, *Environmental Health Perspectives*, 121(7), pp. 811-817.
- Jiménez, A. A. (2022). Consecuencias de la sequía en el Estado de Sinaloa - Noro. Noro. Recuperado de: <https://noro.mx/consecuencias-de-la-sequia-en-el-estado-de-sinaloa/>
- La Jornada (2018). Culiacán: Tres muertos y cuatro desaparecidos por las lluvias, <https://www.jornada.com.mx/2018/09/21/estados/035n1est>.
- Lerner, Amy (2020), Flexibilidad urbana para una ciudad adaptativa y resiliente, Taller: Capacidad adaptativa y resiliencia de la Ciudad de México y sus comunidades (24.09.20), LANCIS-IE UNAM-USP UCSD, 24 de septiembre, https://drive.google.com/drive/folders/1vVa7e1LAoeDUtLkqvFm1eJ9YYb1p_Wjm
- Lhumeau A. & Cordero D. (2012). Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático, UICN, Quito, Ecuador.
- Luber, G. & M. McGehehin. (2008). Climate change and extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine*, 2008. 35(5): p. 429-35.
- Lungman, Tamara (2023). “Con las muertes que producen las islas de calor urbanas, es absurdo que Madrid esté talando árboles maduros”, entrevista de Andrés Actis (11.03.23), Política on Line, Revista The Lancet, Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal), <https://www.lapoliticaonline.com/espana/entrevista-es/entrevista-tamara-iugman/>
- Mapasin (2018). Inseguridad Vial en Culiacán, <https://la-siguiente-ilustracion.sin.org/inseguridad-vial-en-culiacan/>
- Martínez J. (2022). Inundaciones en calles de Culiacán arrastran personas, vehículos y hasta un cocodrilo, El Universal, <https://www.eluniversal.com.mx/estados/inundaciones-en-calles-de-culiacan-arrastran-personas-vehiculos-y-hasta-un-cocodrilo/>

- Masip-Vilà D. (2019). Materiales termocrómicos como tecnología pasiva en cubierta. MBArch Innovación Tecnológica en la Arquitectura, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona – UPC. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/328031/TFM_David%20Masip.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Monjardín-Armenta, S., Pacheco-Angulo C., Plata-Rocha W. & Corrales-Barraza G. (2017). La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. Madera y bosques, 23(1), 7-22, <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311482>.
- National Integrated Heat Health Information System (Nihhis). (2017). The Climate Explorer, <https://toolkit.climate.gov/nihhis/>.
- Navarro F. (2017). Estudio de eficiencia energética sobre la reducción de temperatura en instalaciones tratadas con pintura de recubrimiento reflectante, Vía libre técnica e investigación ferroviaria, 13: 3 – 32, https://www.tecnica-vialibre.es/documentos/Articulos/VLT13_01F.MartinezNavarro.pdf
- Navia T. (2023). Se registra fuerte incendio forestal en el cerro de La Chiva, Culiacán. Línea Directa, https://lineadirectaportal.com/sinaloa/se-registra-fuerte-incendio-forestal-en-el-cerro-de-la-chiva-culiacan-2023-05-24__841384
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (NOAA). (S.A.), What is the heat index? <https://www.weather.gov/ama/heatindex>
- Noroeste. (2015), Cae fuerte lluvia en Culiacán; afectadas 100 familias, www.noroeste.com.mx. <https://www.noroeste.com.mx/buen-vivir/cae-fuerte-lluvia-en-culiacan-afectadas-100-familias-FINO900746>
- Noroeste. (2018). Falta de áreas verdes en Culiacán afecta calidad de vida: científica, <https://www.noroeste.com.mx/culiacan/falta-de-areas-verdes-en-culiacan-afecta-calidad-de-vida-cientifica-DWNO1150407#:~:text=%20A%20pesar%20de%20que%20la,Parques%20y%20Jardines%20del%20Ayuntamiento.>
- Núñez M. (2023). Suman 12 muertes por golpe de calor en Sinaloa, El Sol de Sinaloa, <https://www.elsoldesinaloa.com.mx/local/suman-12-muertes-por-golpe-de-calor-en-sinaloa-10540208.html#:~:text=Culiac%C3%A1n%2C%20Sin.,de%20la%20salud%20en%20Sinaloa.>
- Ochoa M. (2019). Efectos de los cambios de uso y cobertura de suelo en temperatura y precipitación, Seminario-Taller: Isla de calor urbana, México, SEDEMA-Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Organización Mundial de la Salud. (OMS). (2017). Enfermedades Diarreicas, <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease#:~:text=por%20enfermedades%20diarreicas-,Deshidrataci%C3%B3n,la%20orina%20y%20la%20respiraci%C3%B3n>
- Organización Mundial de la Salud. (OMS). (2021), Cambio Climático, <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- Ordóñez P. (s.a.). Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Unam, <https://www.atmosfera.unam.mx/ciencias-atmosfericas/clima-y-sociedad/paulina-ordonez-perez/>
- Pérez, I. (2020). Olas de calor, cada vez más frecuentes en México, Ciencia Unam-DGDC, <https://ciencia.unam.mx/leer/1018/las-olas-de-calor-cada-vez-mas-frecuentes-en-mexico>.
- Periódico Debate Sinaloa. (04 de agosto de 2022). Conócelos estos son los refugios temporales en Culiacán en caso de emergencia, <https://www.debate.com.mx/culiacan/Conocelos-Estos-son-los-refugios-temporales-en-Culiacan-en-caso-de-emergencia-20220804-0423.html>
- Periódico Debate Sinaloa. (15 de agosto de 2023). Sinaloa está inundado por autos: hay más de un millón 473 mil, <https://www.debate.com.mx/sinaloa/culiacan/Sinaloa-esta-inundado-por-autos-hay-mas-de-un-millon-473-mil-20230815-0007.html>.

- Programa de Investigación en Cambio Climático. (PINCC). (2022). El 2021 fue el cuarto año más caluroso en México del que se tenga registro, <https://www.pincc.unam.mx/2021-fue-el-cuarto-ano-mas-caluroso-en-mexico-del-que-se-tenga-registro/>.
- R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reflectores MX. (2022). Sube a siete los muertos en Sinaloa, durante las inundaciones provocadas por las lluvias, <https://reflectores.mx/sube-a-siete-los-muertos-en-sinaloa-durante-las-inundaciones-provocadas-por-lluvias/>
- Rivas Calvete, S., G. Velasco Rodríguez, S. Reyes de la Lanza y M. Blanco Solana. (2021). Guía: Cómo desarrollar un Plan de Acción Climática en México, Luxemburgo, EUR 30701 ES, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, DOI:10.2760/040742
- Robinson, Peter J. (2001). "On the Definition of a Heat Wave", Journal of Applied Meteorology and Climatology, núm 4, vol. 40, pp. 762-775.
- Rocha, R. (2021). "The sustainable (compact) city: urban density and green space for a (post)pandemicurbanism", Academia Letters, Article 1563, <https://doi.org/10.20935/AL1563>
- Russo, A. y G. Cirella. (2018). "Modern Compact Cities: How Much Greenery Do We Need?" International Journal of Environmental Research and Public Health, 15, 2180, DOI:10.3390/ijerph15102180
- Salud Sinaloa. (2022). Sector Salud llama a extremar cuidado ante altas temperaturas, <https://saludsinaloa.gob.mx/index.php/2022/07/22/sector-salud-llama-a-extremar-cuidado-ante-altas-temperaturas/>.
- Salvador, A. (2023). Programa Estatal de Ordenamiento Ecológico de Sinaloa. Desarrollo Territorial, https://IMPLAguamuchil.gob.mx/wp-content/uploads/2023/12/01.-PMOTDU_Salvador-Alvarado_12.12.2023.pdf
- Santiago, A. (2021). "Jevons y otras paradojas para entender la crisis ecológica", Ethic, <https://ethic.es/2021/05/jevons-y-otras-paradojas-ecologicas-de-la-crisis-ecologica/#:~:text=La%20m%C3%A1s%20famosa%20dentro%20del,recurso%2C%20m%C3%A1s%20crecer%C3%A1%20su%20demanda>
- Sarukhán et al. (2012). "Capital natural de México: Acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación", CONABIO, <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/14959.pdf>
- Secretaría de Salud. (2022). "¡Que calor, que calor tengo! Hablemos de salud", <https://www.gob.mx/promosalud/es/articulos/que-calor-que-calor-tengo?idiom=es>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (2022). Contribución Determinada a Nivel Nacional, Actualización 2022, https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico_NDC_UNFCCC_update2022_FINAL.pdf
- Sistema de Información Nacional Sobre Cambio Climático (SINACC). (2021). Consejo de Cambio Climático, <https://cambioclimatico.gob.mx/consejo-de-cambio-climatico-2/>
- Sinaloa, E. D. (2023). Fuerte aguacero afecta el servicio eléctrico en Culiacán y zona rural. El Debate, - Sinaloa. Recuperado de: <https://www.debate.com.mx/sinaloa/policiaca/Fuerte-aguacero-afecta-el-servicio-electrico-en-Culiacan-y-zona-rural-20230722-0066.html>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2023). Información Estadística Climatológica, <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>.
- Soto G. (2015). Causa urbanización incremento del calor, <https://www.noroeste.com.mx/buen-vivir/causa-urbanizacion-incremento-del-calor-GHNO241340>.
- The White House. (2023). Planning Tools for Combatting Extreme Heat, Clean Energy Updates, April 12,

- <https://www.whitehouse.gov/cleanenergy/clean-energy-updates/2023/04/12/planning-tools-for-combatting-extreme-heat/>
- Think Hazard. (2020). Calor Extremo en Culiacán, <https://thinkhazard.org/es/report/20881-mexico-sinaloa-culiacan/EH>.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2021). Boletín ATMÓSFERA, Centro de Ciencias de la Atmósfera, febrero, http://www.unamiradaalaciencia.unam.mx/stc_metro/consulta_stcm_pdf.cfm?vArchivoStcm=183
- Universidad Autónoma de México. "Visualizador del Atlas Climático Digital de México." Atlas Climático Digital de México, <https://atlasclimatico.unam.mx/acdm/visualizador>.
- Vandentorren S. *et al.* (2003). Heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. *Eur J Public Health*, 2006. 16(6): p. 583-91
- Velasco I. (2023). Agua, sequía y cambio climático. gob.mx, <https://www.gob.mx/imta/prensa/agua-sequia-y-cambio-climatico?idiom=es#:~:text=La%20sequ%C3%ADa%20es%20un%20fen%C3%B3meno,din%C3%A1mica%20atmosf%C3%A9rica%20de%20la%20humedad>
- Villa-Farfán, C., J.L. Vázquez-Aguirre y O. Sánchez-Martínez. (2019). "Análisis de calor extremo en el estado de Veracruz y sus aplicaciones", *Digital Ciencia@UAQRO*, 12(1), 44.52.
- Villota (1989). Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas, las panelas y la balsa, https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/diagnostico/2.5fisiografia_y_suelos.pdf.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (1993). *Probability and statistics for engineers and scientists* (Vol. 5). New York: Macmillan.
- We Are Water Foundation. (2021). Árboles en la ciudad: mucho más que sombra, https://www.wearewater.org/es/arboles-en-la-ciudad-mucho-mas-que-sombra_342331.
- Wolfe, Rachel y Amara Omeokwe. (2023). "The Economic Cost of Houston's Heat: 'I Don't Want to Be Here Anymore'", *The Wall Street Journal*, 28 de julio, appeared in the July 29, 2023, print edition as "Houston Faces Heat's Economic Cost", <https://www.wsj.com/articles/i-dont-want-to-be-here-anymore-the-economic-cost-of-houstons-heat-3cf69016>
- Yáñez-Díaz, M., Cantú-Silva I., González-Rodríguez, H., Marmolejo-Monsiváis J., Jurado, E. & Gómez-Meza, M. (2017). Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Revista mexicana de ciencias forestales*, 8:42.



CALOR EXTREMO MÉXICO